

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Радіотехнічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Радіотехнічних пристроїв і систем
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 621.396.61

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ С. Я. Жук
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
за спеціалізацією Радіотехнічні інформаційні технології
(код і назва спеціальності)

на тему: Метод формування багатоточкових завад

Виконав (-ла): студент (-ка) II курсу, групи РТ-81мп
(шифр групи)

Островська Дарія Володимирівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник доц., к.т.н. Бичковський В.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант ох. праці доц., к.т.н. Каштанов С.Ф.
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент доц., PhD Сушко О.Ю.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) Радіотехнічний факультет
(повна назва)

Кафедра Радіотехнічних пристроїв і систем
Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною
програмою

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
спеціалізація Радіотехнічні інформаційні технології
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ С. Я. Жук
(підпис) (ініціали, прізвище)

«_____» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Островській Дарії Володимирівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Метод формування багатоточкових завад
науковий керівник дисертації Бичковський Владислав Олексійович, кандидат
технічних наук, доцент.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» листопада 2019 р. №3881-с

2. Строк подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження комплекс радіопротидії на базі безпілотних літальних
апаратів

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за
освітньо-професійною програмою) багатоточкова завада та засоби її
формування

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Аналіз методів та засобів
радіоелектронної протидії, аналіз методів формування багатоточкових завад,
принципи формування завад, формування зони завад

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу руйнування інформації в РС, сценарій поля бою, формування зони завад, схема ретранслятора, схема РПдТ ретранслятора, схема вихідного каскаду РПдТ ретранслятора

7. Орієнтовний перелік публікацій «Інформаційна спроможність та ефективність радіотехнічних вимірювачів», «Ентропійний аналіз пошуку нерухомих об'єктів», «Реальна та потенційна ефективність радіоелектронних систем в умовах інформаційного конфлікту»

Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каштанов С.Ф., к.т.н., доцент		

9. Дата видачі завдання _____ 9 вересня _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз методів та засобів РП.	9.09 – 16.09	
2	Аналіз мет. формування багатоточкових завад.	16.09 – 30.09	
3	Формування угруповань БПЛА.	30.09 – 14.10	
4	Формування зони завад.	14.10 – 28.10	
5	Вибір та обґрунтування технічних рішень.	28.10 – 11.11	
6	Розрахунок передавача завад.	11.11 – 25.11	
7	Охорона праці.	25.11 – 2.12	
8	Стартап-проект.	2.12 – 9.12	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

РЕФЕРАТ

Структура й обсяг пояснювальної записки становить 90 ст. яка включає в себе 21 ілюстрацію., 21 таблиць., 35 джерел.

Темою магістерської дисертації є «Метод формування багатоточкових завад».

Актуальність роботи обумовлена активним розвитком систем радіопротидії та застосуванням противником безпілотних літальних апаратів для виконання поставлених задач.

Мета дослідження: підвищення ефективності багатоточкової завади.

Об'єкт дослідження: комплекс радіопротидії на базі безпілотних літальних апаратів.

Предмет дослідження: багатоточкова завада та засоби її формування.

Науковою новизною є метод формування багатоточкових завад з використанням потужного передавача завад на поверхні землі та малопотужного передавача на БПЛА. Включення малопотужних передавачів відбувається у момент перетину противником бар'єрної зони завад.

Практичне значення отриманих результатів: Отримані результати дають можливість визначити реальні та потенційні можливості РЕС в умовах інформаційного конфлікту та встановити час, необхідний для виконання поставленої задачі. Результати аналізу можна використовувати в процесі модернізації існуючих РЕС, на початковому етапі проектування нових РЕС та в процесі розробки систем радіопротидії.

Ключові слова: радіоелектронна протидія, багатоточкові завади, безпілотні літальні апарати, ретранслятор завад.

ABSTRACT

The thesis contains 90 pages, which includes 21 illustrations, 21 tables, and 35 names on the list of bibliographical references.

The topic of the master's thesis is "Method of forming multipoint interference".

The urgency of the work is due to the active development of ECM systems and the use of unmanned aerial vehicles to perform the tasks.

Purpose of the study: improving the effectiveness of multipoint interference.

Object of study: a complex of ECM based on unmanned aerial vehicles.

Subject of research: multipoint interference and means of its formation.

The novelty of the work is the method of forming multi-point interference using a powerful ground transmitter and a low power UAV transmitter. The inclusion of low-power transmitters occurs at the moment of crossing the enemy barrier zone of interference.

Practical significance of the results obtained: the obtained results make it possible to identify the real and potential opportunities of the radio-electronic system in the context of an information conflict and to set the time needed to accomplish the task. The results of the analysis can be used in the process of modernization of the existing radio-electronic system, at the initial stage of designing a new radio-electronic system and in the process of development of ECM systems.

Keywords: ECM, multipoint interference, unmanned aerial vehicles, interference repeater.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ПРОТИДІЇ	10
1.1 Характеристики навмисних завад	10
1.2 Аналіз методів формування багатоточкових завад	13
1.3 Постановка задачі.....	26
2 ФОРМУВАННЯ УГРУПОВАНЬ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ.....	30
2.1 Аналіз можливостей безпілотних літальних апаратів.....	30
2.2 Формування зони завад	36
3 ВИБІР ТА ОБГРУНУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ	40
3.1 Принципи формування завад	40
3.2 Вибір передавача ретрансляційних завад.....	42
3.3 Розрахунки радіопередавального тракту ретранслятора	51
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	63
4.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково–дослідної роботи.....	63
4.2 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.....	64
4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	71
5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	77
5.1 Опис ідеї проекту	77

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту	78
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	79
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	82
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	84
5.6 Висновки за розділом	86
ВИСНОВОК	87
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	88

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

РЛС — Радіолокаційна станція

БПЛА — Безпілотний літальний апарат

РП — Радіолокаційні пастки

РЛ — Радіолокація

РЕЗ — Радіоелектронний засіб

ЗС — Завадові сигнали

РЕП — Радіоелектронна протидія

ЕОМ — Електронна обчислювальна машина

ГСН — Голівка самонаведення

РЕС — Радіоелектронна система

СРЕП — Система радіоелектронної протидії

ВСТУП

Радіoeлектронна протидія як частина сучасної високотехнологічної війни відіграє дуже важливу роль. Нині, провідні у військовому аспекті країни, особливу увагу приділяють розвитку та вдосконаленню систем радіопротидії. Для розв'язання поставлених задач противник все частіше застосовує угруповання безпілотних літальних апаратів (БПЛА), тому задача використання ефективних завад для прикриття власних об'єктів є актуальною.

Активний розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є хорошим поштовхом для виконання різних завдань радіoeлектронної війни. Безпілотна система може використовуватися в складних і небезпечних різноманітних повітряних просторах бойового поля, відіграючи значну роль у бойових і розвідувальних операціях. Завдяки перевагам невеликих розмірів, невеликої ваги, низької вартості та простого обслуговування, розвиток БПЛА займає важливе місце з боку військової сили.

На сьогоднішній день безпілотні літальні апарати (БПЛА) є основним засобом розвідки, що дозволяє ідентифікувати ціль і передавати необхідну інформацію до центрального пункту управління. Як правило, всі БПЛА, які використовуються для вирішення цих проблем, мають канал дистанційного управління, тобто належать до класу дистанційно пілотованих транспортних засобів. Дистанційне управління БПЛА здійснюється через командний радіоканал (від блоку управління до блоку керування автопілотом), який складається з канального контролера, радіомодему та антени. Дані передаються по інформаційному радіоканалу, що включає радіомодем та дипольну антену.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ПРОТИДІЇ

1.1 Характеристики навмисних завад

Радіолокаційні завади поділяють на активні і пасивні, які націлені на створення маскування чи дезінформації. Активні завади можна створити за допомогою спеціальних приймально-передавальних радіопристроїв – станцій або передавачів завад, пасивні – різноманітними синтетичними відбивачами радіохвиль.

Маскувальні завади створюються безладними шумовими сигналами, серед яких важко виділити необхідний; дезінформуючі – сигналами, які схожі на реальні, але вміщують в собі хибну інформацію. Активні маскувальні завади найчастіше мають вигляд радіочастотних коливань, модульованих шумами, або шумових коливань, подібних до власних шумів радіолокаційного приймача. Завади можна розділити за шириною частотного спектра на прицільні та загороджувальні. Ширина спектра прицільних завад є співрозмірною з пропускну здатністю радіолокаційного приймача. Завади налаштовані на фіксовану частоту та мають порівняно вузький спектр. Прицільні завади призначені для придушення окремих радіолокаторів. Для їх створення необхідно мати точні параметри радіолокатора, якого необхідно подавити. Цей вид завади призначений в основному для індивідуального радіолокаційного захисту об'єкта і дозволяє створити необхідне перевищення рівня завади над відбитим радіолокаційним сигналом навіть для станцій з малою дальністю дії. Загороджувальні завади, «перекривають» певну частину радіочастотного діапазону. Активні завади також можуть бути у вигляді зондуючих РЛ сигналів, які модульовані по амплітуді, частоті, фазі, часу затримки або поляризації. Такі завади можуть бути одночасно маскуючими та дезінформуючими [1, 2].

Залежно від виду завадового сигналу (ЗС), що придушується, і класу радіоелектронного засобу, обираються різні інформаційні критерії.

Якість маскуючих завад зручно оцінювати за допомогою ентропії ЗС. Маскуючі ЗС повинні виключати можливість виявлення корисного сигналу з ймовірністю, що перевищує задане значення, з деякими обмежуючими умовами. Важливою умовою є апіорне знання корисного сигналу. Рівень відомої інформації може бути різним, але деякі апіорні відомості про корисні сигнали, закони розподілу сигналів, що належать даному класу, повинні бути відомі. Інакше, забезпечити працездатність інформаційної системи не можливо.

Маскуючі ЗС повинні створювати певні умови, при яких після прийому корисного сигналу, завжди зберігалася апіорна невизначеність в системі інформаційного забезпечення. Іншими словами, маскуючі ЗС повинні містити елемент невизначеності. Зі збільшенням невизначеності завадового сигналу, при заданих обмеженнях, зменшуються потенційні можливості його усунення.

За умови відсутності завад, в результаті обробки сигналів апіорна невизначеність була б повністю знята, тоді апостеріорна невизначеність була б рівна нулю.

У процесі створення завад засобам радіозв'язку після прийому сигналів і їх обробки невизначеність повністю не знімається. У першому наближенні ентропія, відповідна апостеріорній невизначеності, дорівнює ентропії впливу шумового ЗС.

Отже, кількість отриманої інформації, повинна бути зменшена за рахунок збільшення ентропії завадового сигналу.

Ентропія, як характеристика якості маскуючих ЗС, дозволяє оцінювати потенційні можливості завад безвідносно до конкретних способів їх обробки в придушуючих пристроях.

Використання інформаційних критеріїв якості ЗС є зручним, оскільки у розробника завадових засобів практично завжди є необхідна інформація для проведення конкретних розрахунків за цими критеріями.

Перевагою розглянутих інформаційних критеріїв є те, що вони дозволяють оцінювати якість ЗС без прив'язки до конкретних подавляючих пристроїв і принципів прийняття рішення противником в умовах завад. Для застосування критеріїв оцінки якості імітаційних ЗС і хибних цілей, важливо знати апостеріорні статистичні характеристики останніх.

Однією з найважливіших енергетичних характеристик ЗС є коефіцієнт придушення, тобто мінімальне відношення енергії даного ЗС до енергії корисного сигналу на вході приймального пристрою, радіоелектронного засобу (РЕЗ), який придушується, в смузі пропускання його лінійної частини, при якому має місце заданий інформаційний збиток.

Інформаційний збиток, який виникає внаслідок впливу завад, проявляється в маскуванні, імітації, затримці у надходженні інформації та ін.. Характер інформаційної шкоди залежить від виду ЗС і подавляючого засобу.

Коефіцієнт придушення (1.1) зручно виражати через відношення потужностей завадового і корисного сигналів на вході приймального пристрою (у вигляді мінімально необхідного відношення потужностей завадового і корисного сигналів):

$$K_{\Pi} = \left(\frac{P_{\Sigma}}{P_c} \right) \quad (1.1)$$

де P_{Σ} — потужність завадового сигналу; P_c — імпульсна потужність корисного сигналу.

Числові значення коефіцієнта придушення бувають знайдені лише для заданого ЗС і заданого подавляючого пристрою.

Таким чином, енергетичний критерій на відміну від інформаційного вимагає знання конкретних характеристик придушуваних систем.

У разі якщо система відома, її можна придушити з меншими енергетичними затратами, застосовуючи відповідні перешкоджаючі сигнали, не обов'язково оптимальні по інформаційним критерієм [1].

1.2 Аналіз методів формування багатоточкових завад

Розглянемо типові багатоточкові завади. Просторово-рознесені (багатоточкові) завади є найбільш ефективними для РЕП кутомірним системам, хоча також можуть застосовуватися для протидії і іншим радіоелектронним системам, які важко подавляються суміщеними завадами.

Просторово-рознесені завади є ефективнішими ніж моноімпульсні та інші кутомірні системи і фізичною причиною ефективності є те, що завади, які випромінюються з різних точок простору, змінюють орієнтацію фронту електромагнітної хвилі, падаючої на антену радіопеленгатора.

В якості носіїв (платформ) постановників винесених випромінювачів завад використовуються: пілотуючі постановники завад; безпілотні дистанційно-керовані літальні апарати; будь-які літальні апарати, які повільно опускаються (парашути, автожири, літаючі крила, аеростати і т. п.) з активними передавачами завад одноразової дії; буксирівані радіолокаційні пастки; відстрілюючі знаряди і ракети, що несуть передавачі перенацілюючих на себе завад (радіолокаційні пастки – РП).

В той же час, один носій може використовуватись для різних цілей. Шумові завади, як правило, застосовуються для прикриття цілей. Втім, розташовуючись на ракетах, вони можуть служити перенацілюючими РП. Імітаційні завади використовуються для створення некогерентних завад,

важливими варіантами яких є мерехтливі завади. Взагалі тактика використання просторово-рознесених завад, в залежності від носія, дуже різноманітна.

Застосування некогерентної завади для протидії визначення кутової координати радіолокаційної цілі зображено на рис.1.1. Подібні винесені завади можуть бути як шумовими (генераторними або відповідними), так і імітаційними.

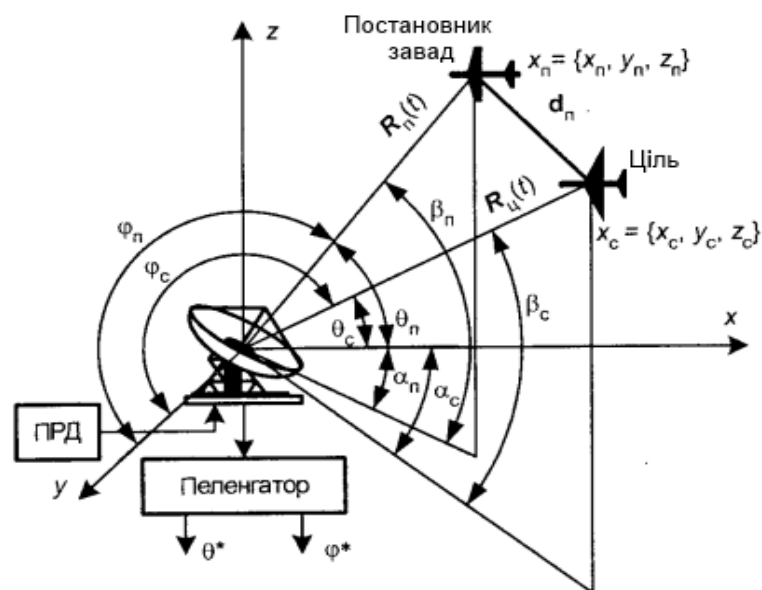


Рис.1.1 — Застосування некогерентної завади з однієї винесеної точки [4]

Моноімпульсний пеленгатор, що входить до складу РЛС, приймає разом з завадою також відбитий від цілі сигнал. Просторове рознесення точок відображення сигналу і випромінювання завади задається вектором $d(x)$, модуль якого:

$$|d_n(t)| = \sqrt{[x_c(t) - x_n(t)]^2 + [y_c(t) - y_n(t)]^2 + [z_c(t) - z_n(t)]^2},$$

де $\{x_c, y_c, z_c\}$ – координати точки випромінювання цілі, а $\{x_n, y_n, z_n\}$ – координати точки випромінювання завади.

Розглянемо когерентні завади, які створені з двох рознесених в просторі точок. Принцип формування когерентної завади, що є одним з методів РЕП,

розробленим для радіоелектронного придушення моноімпульсних РЛС супроводу, полягає в створенні фазової неоднорідності в розкриві приймальної антени шляхом опромінення її когерентними сигналами з двох рознесених точок простору [4-6, 8, 9].

В застосуванні для захисту літака даний принцип створення когерентної завади пояснюється на рис.1.2, де показаний літак, який рухається радіально по напрямку до наземної відстежувальної радіолокаційної системи. При цьому антени передавача завад, встановленої на крилах, розміщуються на лінії, перпендикулярній до лінії радіолокаційного візування літака. Приймальна антена, розташовується по центру фюзеляжу літака, забезпечує прийом сигналів подавляючої РЛС.

При цьому прийнятий сигнал ділиться по потужності та підсилюється, а його фаза в обох каналах регулюється таким чином, щоб опромінені передавальними антенами, сигнали були протифазні і рівні за амплітудою. В результаті в усіх точках лінії візування РЛС обидва сигнали будуть компенсувати один одного, формуючи нульовий рівень по осьовому напрямку апертури антени РЛС.

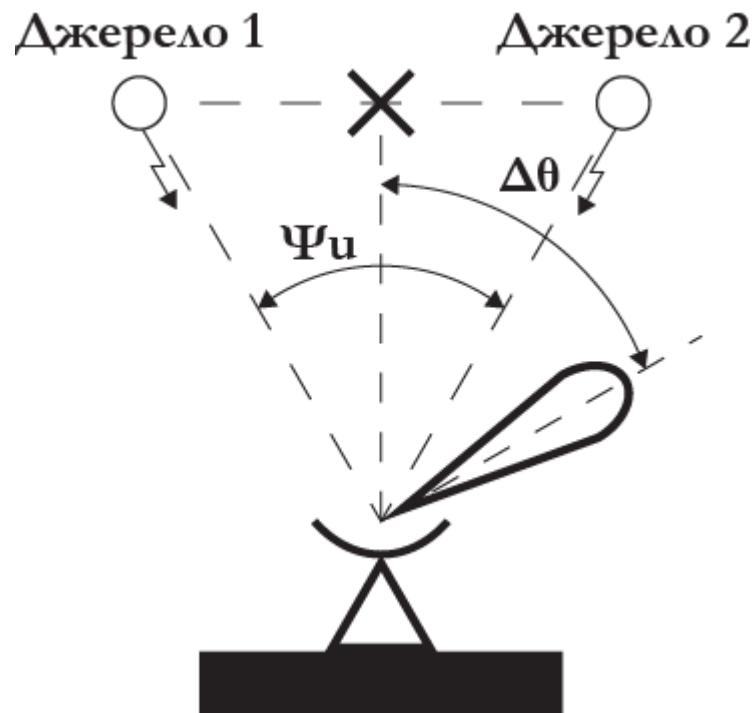
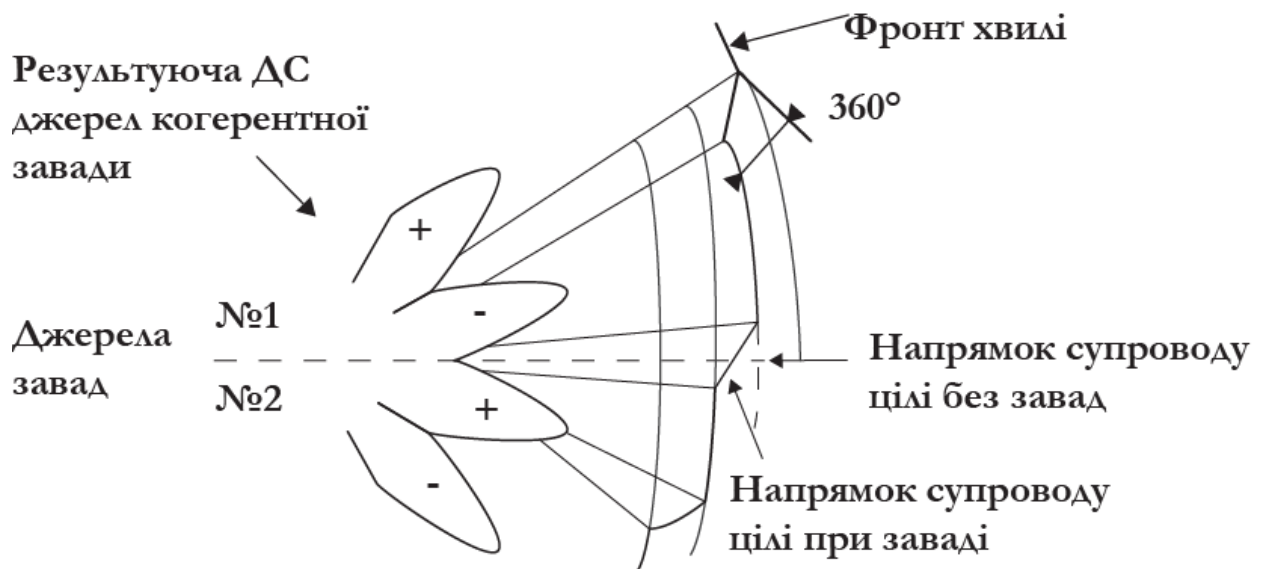


Рисунок 1.2 — Принцип створення когерентної завади[4]

Вздовж напрямку апертури антени подавляючої РЛС виникають і інші нульові рівні, розташування яких можна визначити. Так, при установці передавальних антен на відстані d один від одного положення нулів буде визначатися умовою $d \sin \theta = n\lambda$, де θ - кут між лінією візування центру бази і кутовим положенням нульового рівня; λ - довжина хвилі; n - ціле число. Оскільки $R \gg d$, то кривизною фронту хвилі, в даному випадку, можна знехтувати. Перший нуль ($n = 1$) буде виникати на відстані $d \sin \theta = \lambda$, точно рівному довжині хвилі; інші нулі будуть виникати при $n = 2, 3$ і т. д..

Відстань першого нуля від осевого напрямку $S = R \tan \theta$, що при малих кутах θ (коли $\sin \theta = \tan \theta$) дає рівність $S = R\lambda/d$, де R – відстань між постановником завад і РЛС. Теоретичні дослідження показують, що якщо пеленгована ціль представляє собою двоточкове джерело когерентних сигналів, то фазовий фронт результуючої електромагнітної хвилі, який формується нею, при певних амплітудно-фазових відношеннях сигналів відрізняється від сферичного фронту хвилі, який створений точковим джерелом сигналів (рис.1.3), в результаті чого точність пеленгування таких цілей за допомогою РЛС різних типів в тому числі і РЛС, які працюють



моноімпульсним методом, погіршується.

Рисунок 1.3. — Спотворення фазового фронту хвилі при створенні когерентної завади[4]

Обумовлюється це тим, що при пеленгації точкових джерел сигналів з малими помилками радіолокаційна система в результаті шукає напрямок нормалі до фазового фронту відбитих від цілі радіохвиль. Спотворення фазового фронту за рахунок інтерференційних явищ багатоточкового джерела сигналів цілі або за рахунок управління параметрами випромінюваних завадових сигналів неминуче призводить до відповідних змін положення напрямку візування РЛС. Іншими словами, дія когерентної

завади проявляється у відхиленні рівносигнального напрямку подавляючої РЛС в сторону від напрямку на ціль-постановник завад. Значення помилки пеленгування двоточкового джерела сигналів, як показали дослідження, в залежності від амплітудних і фазових співвідношень сигналів може бути визначено за допомогою наступного математичного виразу:

$$\frac{\Delta\theta}{\Psi_n} = \frac{1-a^2}{2[1+a^2+2a\cos\alpha]},$$

де $\Delta\theta$ — кутова похибка, яка відраховується від середини бази; Ψ_n — кутова база джерел (рис. 1.2); a — відношення амплітуд сигналів; α — фазовий зсув сигналів на вході приймальної антени РЛС.

Розглянемо багатоточкові мерехтливі завади. Мерехтливі завади відносяться до групового засобу захисту. Принцип створення їх полягає в тому, що передавачі завад, які встановлені на захисних об'єктах, вмикаються і вимикаються за програмою. Найпростіший варіант — це програми включення і виключення передавачів по черзі. В цих умовах радіолокатор спостерігає цілі в тій послідовності, в якій проводиться включення і виключення передавачів завад. При цьому передавачі завад можуть включатися за випадковим законом, щоб не дати РЛС можливості супроводжувати окрему ціль протягом часу, достатнього для точного визначення її місцезнаходження [4-6, 10]. Дія такої завади ґрунтується на обмеженій роздільній здатності кутомірного координатора. Як показано в [5] при наявності двох постановників завад не визначених по напрямку, радіолокатор відстежує положення енергетичного центру, який визначається виразом:

$$\frac{\Delta\theta}{\Psi_i} = \frac{P_{n1}(t) - P_{n2}(t)}{P_{n1}(t) + P_{n2}(t) + 2P_c(t)}$$

де Ψ_i — кут між постановниками завад; $\Delta\theta$ — кут між напрямками на енергетичний центр та середину кута Ψ_i ; $P_{\pi 1}(t)$, $P_{\pi 2}(t)$ — потужність завади, яка випромінюється першим та другим постановниками завад відповідно. $P_c(t)$ — потужність сигналу, відбитого від кожного з постановників завад.

Розглянемо варіанти реалізації мерехтливих завад [10]. При створенні синхронних мерехтливих завад можливі наступні варіанти:

1. Два літаки, які знаходяться на однаковій відстані від РЛС, використовують для передачі інформації міжлітакову лінію зв'язку, що працює поза частотним діапазоном РЛС. Один літак керує частотою комутації та через лінію зв'язку включає передавач завад другого літака. Проте втрата одного з літаків призводить до неефективного захисту, у випадку коли відсутній запасний літак, який здатний замінити виведений з ладу. Крім того, така лінія міжлітакового зв'язку дорога і важко забезпечити її завадозахищеність.

2. Для синхронізації роботи передавачів завад використовується звичайна бортова навігаційна система або наземна станція наведення літаків. Ці системи передають необхідні дані для синхронізації і забезпечують цим послідовне синхронне мерехтіння завади. При цьому передбачається, що для забезпечення скритності роботи в навігаційній системі прийняті відповідні заходи, які виключають можливість створення їй завад. Перевага цього методу - дешевша лінія зв'язку.

3. В системі не використовується лінія зв'язку. Один з літаків оснащується передавачем завад малої потужності, наприклад, 10 Вт, який постійно ввімкнений. Інший літак має передавач мерехтливих завад набагато більшою потужністю наприклад, 500 Вт. Під час паузи потужного передавача одноцільова РЛС буде супроводжувати 10-ватний передавач завад, оскільки цієї потужності достатньо, щоб замаскувати обидві цілі на прийнятних дальностях до РЛС. Коли вмикається потужний передавач завад,

РЛС переходить на супровід цього передавача, так як його потужність в 50 разів більше, ніж потужність безперервно випромінюваного передавача завад. Але якщо ведучий літак буде збитий або його передавач завад вийде з ладу, то інший літак стає дуже вразливим для ракет власного об'єкта, які працюють в режимі наведення на сигнал завади.

4. Один літак (ведучий) знаходиться позаду іншого літака. Ведучий літак може бути одним з літаків атакуючої групи або звичайним літаком-постановником завад прикриття, який зазвичай знаходиться в такому положенні. Він здійснює управління послідовним включенням шляхом випромінювання свого мерехтливого шумового сигналу в напрямку антени іншого літака. В бортовій апаратурі РЕП веденого літака, при цьому, повинна бути забезпечена хороша розв'язка між передавальною антеною і приймальною. Альтернативне рішення полягає у використанні в передавальному і приймальному трактах фільтрів, щоб антена приймала сигнал від ведучого літака поза частотним діапазоном завади, створюваної веденим літаком. У такому разі, апаратура завад ведучого літака повинна мати більш широкую частотну смугу, ніж апаратура завад веденого літака.

5. Метод створення синхронних мерехтливих завад передбачає використання стабільних, точних годинників, синхронізованих до вильоту. Слід зазначити, що ефективність мерехтливих завад залежить від відстані між літаками, їх швидкості, роздільної здатності ГСН ракети по кутовим координатам, маневреності ракети (допустимого перевантаження) та інших параметрів, що характеризують конкретну обстановку. Оскільки ефект порушення роздільної здатності у напрямку досягається тільки за умови відсутності дозволу постановників завад по дальності і швидкості, найпростішим шляхом створення мерехтливих завад, є використання передавачів прицільно-загороджувальних шумових завад, несинхронно комутуючих з низькою частотою. При цьому режим несинхронної комутації трохи знизить ефективність захисту в порівнянні з синхронно комутуючими

завадами, проте забезпечить ряд істотних переваг при його реалізації, включаючи зниження вартості і збереження автономності дій груп літаків, які захищаються.

Ефект дії мерехтливих завад можна створити за допомогою рознесених в просторі передавачів, які безперервно перебудовуються по частоті. У цьому випадку, як і при мерехтливій заваді, РЛС по чергово буде спостерігати різні цілі в міру того, як частота передавачів завад послідовно потрапить в смугу пропускання приймача РЛС. Заважаючий ефект кутомірному каналу в цьому випадку дещо нагадуватиме ефект звичайної групової цілі з тією лише різницею, що роздільна здатність по дальності цілей буде неможливою, оскільки передавачі завад працюють в безперервному режимі.

Якщо швидкість хитання частоти передавача встановити відповідно до вимог впливу на кутомірний канал, то РЛС в момент співпадіння частоти завади з частотою налаштування її приймача буде переходити на автосупровід відповідного постановника завад. При виході частоти завади за межі смуги пропускання приймача РЛС буде продовжувати супровід тієї ж цілі, але вже по відбитому сигналу. У момент збігу частоти завади, випромінюваної з іншого літака, з частотою приймача, дальномірний канал РЛС виявиться забитим завадою, внаслідок чого вибір цілі по дальності порушиться, і РЛС перейде на автосупровід нової цілі по заваді. Оскільки літак, що випромінює заваду, буде знаходитися в іншому напрямку, то антенна система повернеться в цей новий напрямок. Аналогічне перенацілювання відбудеться при повторному входженні завади від першої цілі або іншої нової цілі. В результаті по чергового впливу завад, які випромінюються з рознесених в просторових постановників частотно-перелаштовуючих завад, антенна система буде переходити з супроводу однієї цілі на супровід іншої, і, отже, буде відчувати розхитування у відповідності з програмою роботи передавачів завад. Допустимі швидкості перелаштування частоти завади досить низькі, що є її обмеженням, так як при перебудові в

широкому частотному діапазоні інтервали між впливами завади будуть великі, що суттєво знизить очікуваний ефект "мерехтіння" супроводженої цілі. При високих швидкостях перелаштування, коли час між впливами стає співрозмірним постійній часу приймача, очікуваний ефект в кутомірному каналі наближається до ефекту групової цілі незалежно від різниці відстаней від РЛС до окремих цілей групи, оскільки роздільна здатність по дальності в цьому випадку порушується дією завади.

Перевага завади з хитанням частоти полягає в її дії на велику кількість РЛС, робочі частоти яких перекриваються діапазоном перестройки частоти передавачів, і порівняльній простоті апаратури завад.

При створенні завади з хитанням по частоті може використовуватися різна кількість передавачів шумових завад. Центральна частота, смуга і закон перестройки кожного з них можуть регулюватись вручну або автоматично за допомогою ЕОМ. Сигнали управління формуються на основі інформації, що надходить з приймальної системи радіотехнічної розвідки. На рис.1.4 показані три варіанти можливих режимів роботи такої системи створення завад з використанням чотирьох передавачів:

1. Кожен з передавачів завад налаштований на конкретну фіксовану частоту, яка використовується противником. Цей варіант аналогічний індивідуальній настройці чотирьох передавачів завад на конкретні частоти РЛС, однак при роботі в складі системи настройка передавачів завад і реагування на зміну вхідних сигналів можуть відбуватися швидше, ніж при їх індивідуальному окремому налаштуванні(рис.1.4, а).

2. Режим частотної перебудови кожного передавача завад, що забезпечує перекриття повної смуги частот $f_1 - f_2$ шляхом перебудови кожного передавача завад в заданій частині смуги. Частота перебудови передавачів завад при бажанні може бути обрана відповідно до частоти сканування простору антенного променя подавляючої РЛС, в результаті чого

завада буде синхронізована з розгорткою на ІКО РЛС. За умови придушення кількох РЛС, швидкість перелаштування частоти передавачів завад може швидко змінюватись (рис.1.4, б).

3. Кожен передавач шумових завад перебудовується за частотою по пилкоподібному закону по всій смузі частот. Ширина шумової смуги кожного передавача завад обрана так, щоб вони, межуючи своїми спектрами один з одним за рівнем 3 дБ, створювали суцільне покриття по частоті (рис.1.4, в).

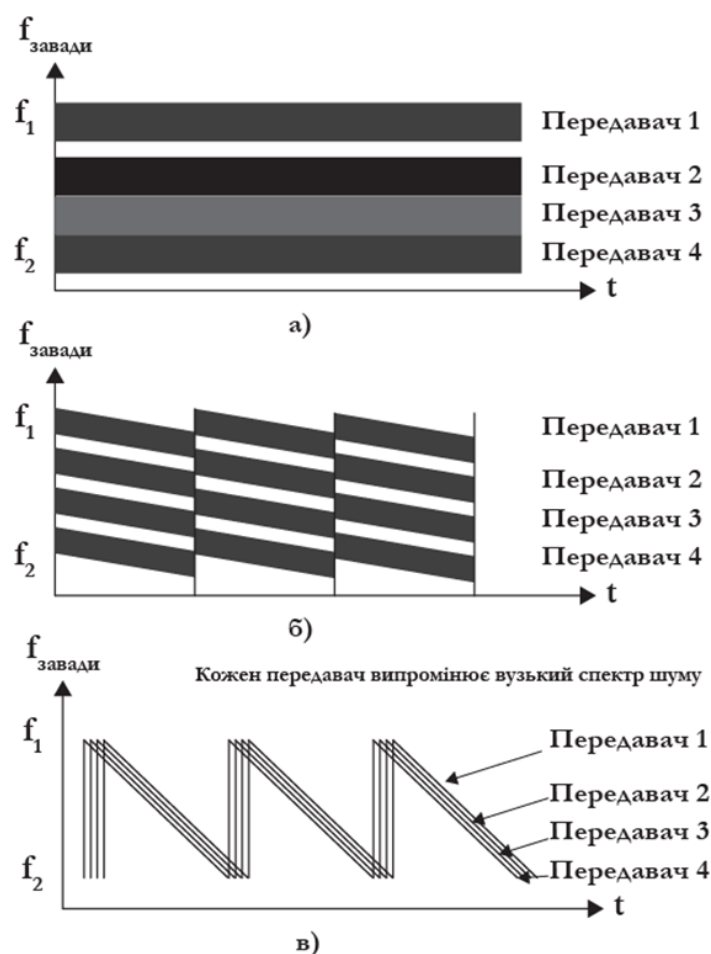


Рисунок 1.4 — Режимы частотной перестройки передатчиков завад[5]

Цей метод може забезпечувати підвищення потужності на 6 дБ, по зрівнянню з роботою одного передавача завад в режимі обмежувальної завади з перелаштуванням смуги частот.

Варто зазначити, що мерехтлива завада незалежно від способу її реалізації, як і когерентна завада, яка випромінюється з двох рознесених в просторі точок, є універсальною в тому сенсі, що за певних умов може діяти на системи пеленгації різних типів. Пояснюється це тим, що дія її в кінцевому рахунку так же пов'язана зі зміною нахилу фазового фронту радіохвилі, приймаючої антени РЛС [10].

Розглянемо мерехтливі завади доплерівським РЛС. Під час реалізації даного методу РЕП формуються послідовно в часі дві хибні частоти Доплера, розташовані з одного боку від частоти Доплера сигналу цілі. Якщо використовувати зсув частоти з протилежною полярністю пилкоподібного коливання, то при необхідності можуть бути сформовані дві хибні доплерівські цілі по іншу сторону від носійної частоти. Полярності, що чергуються та різні зсуви частоти можуть створювати додаткові хибні цілі на будь-якій стороні від несучої частоти. При цьому коефіцієнт заповнення двох хибних сигналів буде змінюватися так, щоб строб селекції за швидкістю радіолокатора зміщувався туди і назад. Частота комутації

$$f_k = \frac{1}{t_1 + t_2}, \quad (1.5)$$

де t_1 і t_2 — тривалості випромінення хибних цілей (можуть також змінюватися).

Для підвищення ефективності створення хибних по швидкості цілей можна поєднувати з одночасним створенням вузькосмугового шумового сигналу на частоті відбитого від цілі сигналу. В даному випадку повинна регулюватися потужність або ко коефіцієнт посилення ретранслятора, щоб сигнали хибних доплерівських частот значно перевищували за рівнем вузькосмуговий шумовий сигнал. При цьому амплітуда вузькосмугового шумового сигналу біля несучої частоти радіолокаційного сигналу повинна бути достатньою, щоб забезпечити відношення завада-сигнал близько 6 дБ і

замаскувати сигнал, відбитий від цілі. Наприклад, для радіоелектронного подавлення ГСН з безперервним сигналом підсвіту діапазону частот 10...20 ГГц можуть використовувати хибні сигнали Доплера, що переключаються на частотах 2 і 3 кГц, які розташовані по одній стороні від несучої частоти сигналу підсвіту, і шуми, які маскують відбитий від цілі сигнал. Строб швидкості ракети в цьому випадку не може виділити і захопити відбитий сигнал і можливо перейде в режим наведення по сигналу вузькосмугової ЧМ-шумової завади. Однак, якщо приймач запрограмований так, що до переходу в цей режим він переходить в пошук по швидкості, або приймачу необхідні шумові сигнали певної ділянки діапазону доплерівських частот для задоволення критерію переходу в режим наведення на заваду, або шуми недостатньо сильні для того, щоб викликати перехід в цей режим, то строб швидкості ГСН може захопити один з хибних доплерівських сигналів. Коли цей помилковий доплеровський сигнал вимикається, а інший включається, строб швидкості ГСН зазвичай захоплює нову помилкову ціль. Період мерехтіння хибних цілей (1.5) повинен бути обраний приблизно рівним постійної часу системи захоплення приймача ГСН. Якщо частоту мерехтіння вибрати відповідно до частоти сканування доплерівського радіолокатора, то можна забезпечити одночасне створення завади кутомірному каналу РЛС

Прийmemo до уваги, що доцільним є використання передавачів завад малої потужності (наприклад, 10 Вт) на борту БПЛА та потужного передавача завад, розміщеного на поверхні землі [11].

Безпілотні літальні апарати з бортовими станціями завад маневрують в межах ліній спостереження. Системи у вигляді ліній спостереження, які складаються з рухомих засобів (наприклад розвідувальних літаків), широко використовуються для визначення наземних, надводних і навіть повітряних цілей [11].

Розрахунки таких систем також проводяться як для визначених, так і для невизначених ситуацій. Можна застосовувати до невизначених ситуацій,

це також буде відповідати розрахунку так званих ефективних систем спостереження.

Крім того, при побудові та розрахунку систем, які складаються з рухомих засобів, необхідно враховувати вид і характер руху спостерігачів (наприклад, патрулювання на загальній або роздільних позиціях, узгоджене або неузгоджене маневрування, маневрування на лінії, за схемою «петлі» по периметру прямокутника, по «вісімці» та ін.), оскільки вони сильно впливають на ефективність виявлення цілі й зумовлюють специфіку розрахунку подібних систем [12].

1.3 Постановка задачі

В сучасних умовах використання радіоелектронних систем (РЕС) все більше уваги приділяється забезпеченню їх функціонування в умовах зміни режимів роботи, впливу завад та у критичних ситуаціях. Узагальненою особливістю РЕС є неможливість виконання поставленої задачі без зовнішнього та внутрішнього інформаційного забезпечення. Таким чином, виникає можливість руйнування інформації та інформаційного подавлення РЕС, що реалізується системою радіоелектронної протидії (СРЕП). Отже, виникає інформаційний конфлікт між РЕС та СРЕП і задачу аналізу ефективності РЕС в умовах інформаційного конфлікту слід вважати актуальною [13, 14].

Прийmemo до уваги, що наслідки інформаційного конфлікту можна оцінити ймовірністю P , з якою РЕС виконують поставлену функціональну задачу. У штатному режимі роботи РЕС ця ймовірність постійно збільшується за рахунок надходження інформації $I = I(t)$ та асимптотично наближується до одиниці. Якщо K – константа швидкості зміни P за рахунок надходження I , то можна записати

$$dP = K(1 - P)dI \quad (1.6)$$

Перейдемо до зворотної події та позначимо $g = 1 - P$. Тоді на підставі формули (1.6) визначаємо

$$\frac{dg}{g} = -Kdl \quad (1.7)$$

Позначивши $G = \ln g$, $C_n = \frac{dl}{dt}$, на підставі залежності (1.7) знаходимо:

$$dG = -Kdl, \quad (1.8)$$

$$\frac{dG}{dt} = -KC_n. \quad (1.9)$$

Розглянемо ситуацію, коли в РЕС від джерела надходить інформація із постійною швидкістю C_1 . Для забезпечення протидії роботі РЕС організовано перехоплення інформації від того ж джерела з подальшим впливом, спрямованим на зменшення швидкості зростання кількості інформації в РЕС(рис.1.5).

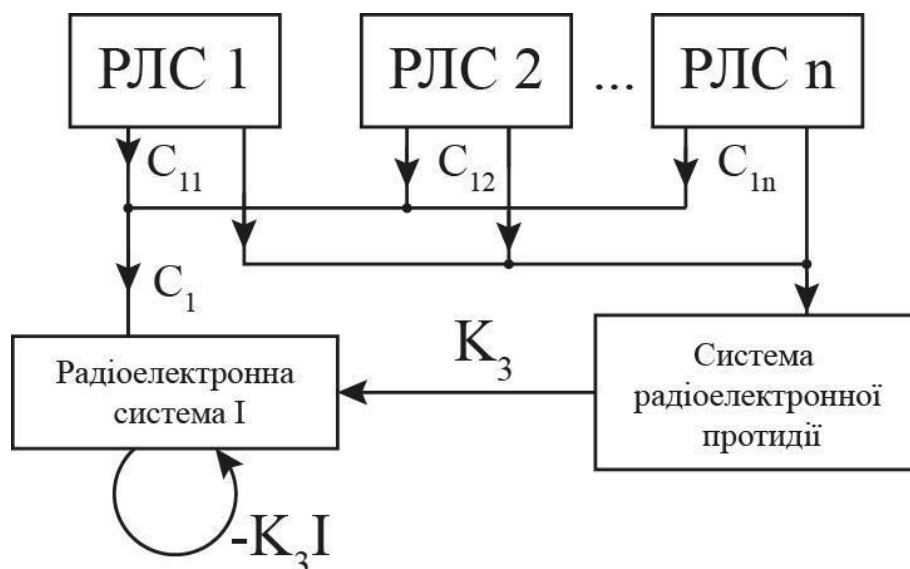


Рисунок 1.5 — Схема руйнування інформації в радіоелектронній системі
Тоді можна записати

$$\frac{dI}{dt} = C_1 - K_3 I, \quad (1.10)$$

де K_3 – коефіцієнт, який характеризує інтенсивність втрат інформації та залежить від C_1 [15]. В загальному випадку $K_3 = bC_1^m$, де b – розмірний коефіцієнт. Таким чином, залежність (1.10) приймає вигляд

$$\frac{dI}{C_1 - bC_1^m I} = dt. \quad (1.11)$$

Інтегруючи ліву частину рівняння (1.11) від 0 до I , а праву від 0 до t , за умови $I < (bC_1^{m-1})^{-1}$ знаходимо

$$I = \frac{1}{bC_1^{m-1}} [1 - \exp(-bC_1^m t)]. \quad (1.12)$$

На підставі залежностей (1.8), (1.12) визначаємо

$$dG = -KC_1 \exp(-bC_1^m t) dt \quad (1.13)$$

Інтегруючи ліву частину рівняння (1.13) від 0 до G , а праву від 0 до t , знаходимо

$$G = -\frac{K}{bC_1^{m-1}} [1 - \exp(-bC_1^m t)] \quad (1.14)$$

Усталене значення

$$G_{\text{ст}} = \lim_{t \rightarrow \infty} G(t) = -\frac{K}{bC_1^{m-1}} \quad (1.15)$$

Приймаючи до уваги залежність (1.14), визначаємо

$$t = \frac{1}{bC_1^m} \ln \frac{K}{K + bGC_1^{m-1}} \quad (1.16)$$

Приймемо до уваги, що $G < 0$. Тоді для знаменника формули (1.16) можна записати

$$K - b|G|C_1^{m-1} > 0 \quad (1.17)$$

Приймемо до уваги, що $G = \ln g$, $g = 1 - P$. Таким чином $P = 1 - \exp(G)$.

Тоді на підставі залежностей (1.14), (1.15) можна записати

$$P = 1 - \exp \left\{ -\frac{K}{bC_1^{m-1}} [1 - \exp(-bC_1^m t)] \right\}$$

$$P_{\text{ст}} = 1 - \exp \left(-\frac{K}{bC_1^{m-1}} \right)$$

Таким чином, встановлено потенційну та реальну ефективності функціонування РЕС в умовах перехоплення інформації іншою стороною конфлікту та подальшого деструктивного впливу на РЕС.

Отримані результати дають можливість визначити реальні та потенційні можливості РЕС в умовах інформаційного конфлікту та встановити час, необхідний для виконання поставленої задачі. В результаті проведеного аналізу з'ясовано, які обмеження накладаються на характеристики РЕС. Результати аналізу можна використовувати в процесі модернізації існуючих РЕС, на початковому етапі проектування нових РЕС та в процесі розробки систем радіопротидії.

2 ФОРМУВАННЯ УГРУПОВАНЬ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

2.1 Аналіз можливостей безпілотних літальних апаратів

Тактичні безпілотні літальні апарати (БПЛА) останнім часом довели свої можливості і стають невід'ємною частиною військових сил, але теперішні оперативні БПЛА потребують високого рівня людського контролю для виконання успішної місії. У динамічному бойовому середовищі висока вимога пропускну здатності до передачі інформації з БПЛА на наземну станцію управління та збільшення ідентифікації цілі до часу її задіяння через присутність людей у циклі прийняття рішень мотивує розвиток автономних систем БПЛА [21, 22]. Автономні системи БПЛА збільшують поточні обмежені можливості БПЛА для прийняття точних та послідовних рішень на борту разом з іншими пілотованими та безпілотними літальними апаратами через онлайн-зондування та обмін інформацією [23]. Взаємодія автономних БПЛА передбачає спільну роботу двох або більше БПЛА, які здатні виявляти, розміщувати, класифікувати та залучати статичні та мобільні цілі [24, 25].

Проблема контролю управління для груп БПЛА може бути вирішена на двох рівнях:

1. Визначення місії та визначення оптимальної кількості БПЛА та інших ресурсів.
2. Визначення діяльності, маршрутів та графіків роботи кожного БПЛА.

Розглянемо алгоритм угруповання БПЛА який базується на методі Дубінса для визначення оптимальної кількості БПЛА для місій наземної атаки з метою досягнення бажаного набору цілей кутів атаки для сильно захищеної нерухомої цілі. Також представлені заходи, маршрути та розклади кожного типу БПЛА до внутрішньогрупових та міжгрупових процедур координації.

Система оборони власного об'єкта складається з нерухомої цілі (центр управління космічною/хімічною/ядерною зброєю), яку охороняє багат шарова оборонна мережа. Нехай T_x і T_y — положення наближеного центру нерухомої цілі, що займає площу A_x . Нехай N_{ld} буде кількість шарів в оборонній мережі, яка охороняє нерухому ціль. Операційний радіус r_i кожного шару i від цільового положення обмежений O_{lri} , а пов'язана з ним здатність до руйнування визначається як D_i . Набір можливостей руйнування T_D шарів N_{ld} і D_i , заданий:

$$T_D = \{D_1, D_1, \dots, D_i, \dots, D_{N_{ld}}\}$$

$$D_i = \{L_{1,i}, L_{2,i}, \dots, L_{j,i}, \dots, L_{N_{lp,i}}\}, i = 1, 2, \dots, N_{ld} \quad (1)$$

де $N_{lp,i}$ - кількість систем запуску зброї в шарі i , а L_{ji} позначає j -ю платформу запуску в шарі i . Кожна система запуску і зброя, яку вона несе, характеризуються $L_p = \{\text{Зброя (ефективність захисту, мобільність)}, \text{обмеження ведення вогню (по куту азимуту, по куту місця)}, \text{кількість засобів ведення вогню в одному шарі захисту, тип ГСН, уразливість до подавлення сигналу}\}$. Система оборони власного об'єкта оснащена радіолокаторами великої та малої дальності. Ці радари заздалегідь виявляють зброю, що втручається, та повідомляють про її ймовірну інформацію про положення на платформі запуску зброї у кожному шарі системи оборони. Зброя запускається з платформ, розташованих спочатку у зовнішніх шарах, і в разі невдачі в ціль наступні внутрішні шари активізуються. БПЛА противника призначені для

виконання конкретних завдань [21, 22] та несе специфічні для місії ресурси. До таких завдань відносяться:

1. Спостереження та розвідка цільової зони.
2. Придушення ресурсів противника ;
3. Атака противника .

Ці три ролі потребують трьох БПЛА різних типів, таких як БПЛА високої розвідки, БПЛА для придушення власного об'єкта та БПЛА атаки.

Розвідувальні безпілотні літальні апарати. Цей клас БПЛА літає на дуже великій висоті, і його основна місія полягає у збиранні розвідувальної інформації про визначну зону.

Нехай U_R — це сукупність r різних типів розвідувальних БПЛА, здатних нести різні датчики місії різного діапазону, поля зору та точності інформації.

$$U_R = \{U_{R1}, U_{R2}, \dots, U_{Rr}\}$$

Кожен розвідувальний БПЛА характеризується $U_{ri} = \{\text{круїзна швидкість, круїзна висота польоту, типи давачів, дальність дії давача, сектор огляду давача, точність інформації давача}\}$, $i = 1, 2, \dots, r$. Від U_R може бути обрана бажана кількість розвідувальних БПЛА з бажаними датчиками місії.

БПЛА для боротьби з ворогами. Основна місія цього класу БПЛА полягає в тому, щоб літати над місцевістю і придушувати ворожі оборонні ресурси. Нехай U_E — це сукупність різних типів БПЛА, що придушують ворога, які здатні носити різну розумну зброю різної характеристики.

$$U_E = \{U_{E1}, U_{E2}, \dots, U_{Es}\}$$

Кожен БПЛА для придушення власного об'єкта характеризується $U_{Ei} = \{\text{круїзна швидкість, круїзна висота польоту, зброя (тип ГСН, максимальна висота польоту, максимальна швидкість польоту, дальність дії), система самооборони (тип, дальність та період дії)}\}$, $i = 1, 2, \dots, s$. Починаючи з

U_E може бути обрана бажана кількість БПЛА для придушення власного об'єкта з бажаними характеристиками.

БПЛА атаки. Основна місія цього класу БПЛА - атакувати ціль, випускаючи розумну зброю. Нехай U_A — це набір, що складається з різних a типів БПЛА, що несуть різну розумну зброю різної характеристики.

$$U_A = \{U_{A1}, U_{A2}, \dots, U_{Aa}\}$$

Кожен ударний БПЛА характеризується $U_{Ai} = \{\text{круїзна швидкість, круїзна висота польоту, зброя (тип ГСН, максимальна висота польоту, максимальна швидкість польоту, дальність дії)}\}$, $i = 1, 2, \dots, a$. З U_A може бути обрана бажана кількість штурмових БПЛА з бажаними характеристиками.

Місія БПЛА полягає в одночасному нападі на нерухому ціль, захищену оборонною системою, під заданими кутами атаки цілі. Проблема полягає у визначенні:

- 1) Оптимальної кількості БПЛА атаки, необхідних для одночасного нападу на ціль у всіх кутах атаки цілі.
- 2) Кількості розвідувальних БПЛА власного об'єкта, необхідних для розвідувальних дій та місій придушення ворожих об'єктів, таким чином формуючи групи.
- 3) Кутова свобода, необхідна для кожного БПЛА, що атакує, в межах активного діапазону шукача для виходу зброї.
- 4) Початкове положення, кутове відділення та напрямки наближення для кожного класу БПЛА.
- 5) Тактика місії для кожного класу БПЛА.

На рис 2.1 зображений практичний сценарій поля бою, оскільки зазвичай для захисту нерухомої цілі, використовується тришарова оборонна мережа. Найглибший шар складається зі статичних зенітних ракетних установок. Цей захисний шар активується лише тоді, коли і зовнішній, і середній шари не в змозі захистити ціль. Середній шар складається з

мобільних зенітних ракетних установок та РЛС і розташовуються рівномірно навколо цілі. Вони пов'язані з мобільними радіолокаційними станціями для отримання інформації про ворога та управління кутом запуску ракет. Цей захисний шар активується, якщо захист зовнішнього шару не зможе знищити вхідну атаку. Зовнішній шар складається з угруповань БПЛА з бортовими станціями завад, які з'єднані між собою лініями зв'язку та маневрують в межах лінії спостереження.

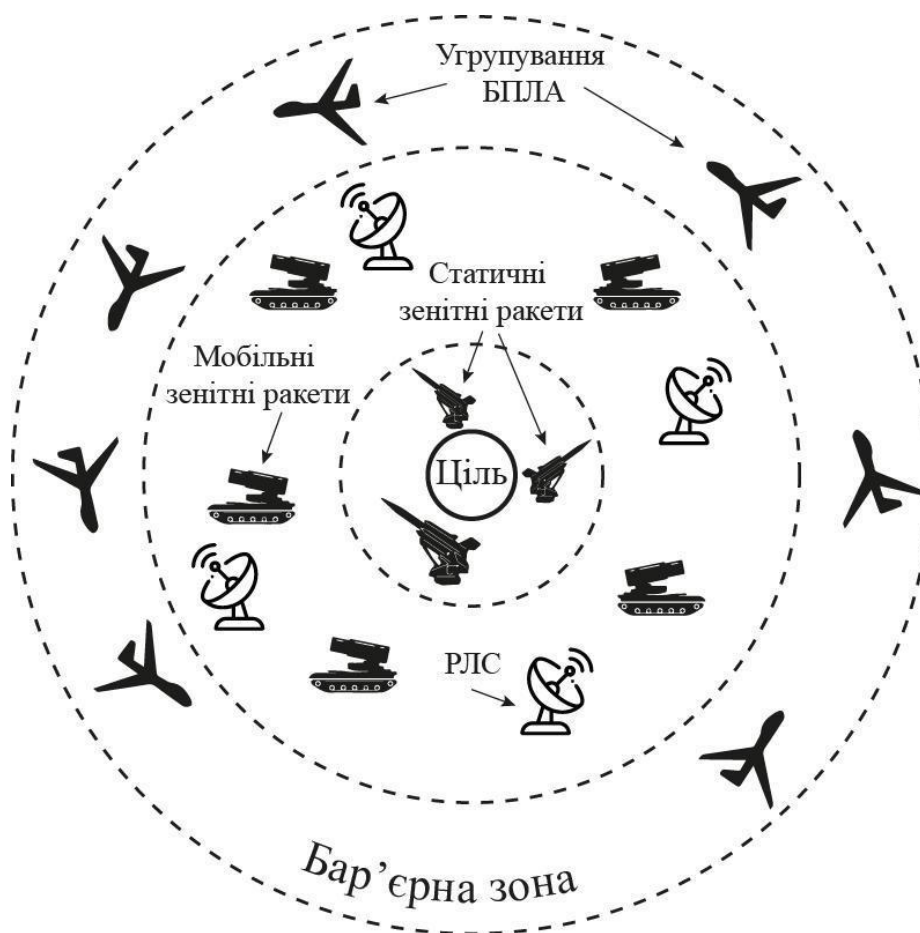
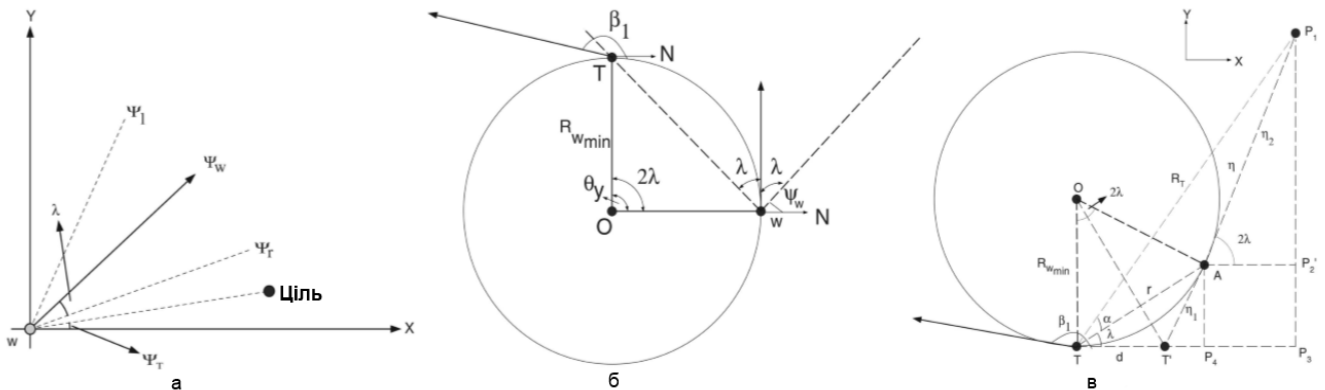


Рисунок 2.1 — Сценарій поля бою

Дубінс довів, що існує плавний найкоротший шлях, що задовольняє обмеження радіусу повороту транспортного засобу. Він показав, що кожна кривизна, обмежена площинною геодезикою, - це постійно диференційована крива, яка є або типом CSC, або CCC, або підмножиною цих двох контурів (тобто CS, SC, або CC), де C — дуга кола мінімального радіусу повороту, а S — відрізок прямої лінії. Шкель і Люмельський [28] розширили ці результати,

розглядаючи лівий і правий повороти і [29] розглядали завади в навколишньому середовищі. З огляду на початкове та кінцеве положення та орієнтацію зброї, де вихідне положення та орієнтація задаються швидкістю БПЛА в момент виходу зброї, а кінцеве положення та орієнтація - це цільове



положення та кут атаки, завжди існує шлях Дубінса для зброї, що задовольняє обмеження радіусу повороту. Нехай ψ_{f0} - початкова орієнтація свободи в зброї (заголовок свободи) без обмежень поля зору шукача. Оскільки поле зору шукача зброї зменшується, свобода заголовка ψ_f скорочується і звужується до прямої лінії для поля зору нульового зору шукача[25, 26].

Рисунок 2.2 — Умова для дійсного шляху зброї (а), кутові критерії для дійсного кінцевого відрізка шляху Дубінса(б), положення (точка виходу першого сегмента) геометрія межі (в) [25]

Аналогічно, для заданого діапазону націлювання, по обидві сторони від остаточного напрямку руху, свобода заголовка скорочується і остаточно припиняє своє існування. Кутове відстань між двома крайніми точками визначає позиційну свободу Γ_f для випуску зброї. Якщо позиційна свобода, що відповідає двом різним кутам атаки, перетинається і якщо БПЛА розміщені в цій області перетину, то два цільових кути атаки можна досягти одночасно. Цей підхід угруповання спирається на визначення межі та позиційної свободи для заданого кута атаки та визначення області перетину

для позиційної свободи. Шлях Дубінса Y — це дійсний шлях зброї, якщо ціль знаходиться у зоні покриття шукача у всіх точках шляху Дубінса. На рис. 2.2, (а), нехай Ψ_w — це заголовок зброї в будь-якій точці w на шляху Дубінса Y з Ψ_r і Ψ_l як межі поля заголовка зору шукача, а Ψ_T — як заголовок цілі стосовно поточного положення зброї w , то шлях Дубінса є дійсним шляхом зброї, якщо $\Psi_l \leq \Psi_T \leq \Psi_r$, для всіх, $w \in Y$.

2.2 Формування зони завад

Формування зони завад забезпечується за рахунок патрулювання БПЛА на загальній позиції у бар'єрній зоні.

Патрулювання на загальній позиції може здійснюватися одночасно двома і більше спостерігачами(пошуковими одиницями); при цьому можуть бути використані способи патрулювання на лінії або по периметру прямокутника (за схемою «петлі»).

Патрулювання на лінії (рис. 2.3, а) найхарактерніший вид патрулювання не тільки одиночного, але і групи БПЛА [16-20].

БПЛА рухаються один за одним, чітко зберігаючи заданий інтервал, за схемою так званою «замкненого кола». Величина інтервалу l_i та (для збереження нерозривності замкнутому колу спостерігачів) має бути рівна довжині шляху l_r , який проходить спостерігач за час проникнення цілі $t_{ц}$. Виходить:

$$t_n = t_{ц};$$

$$t_n = \frac{l_i}{V_n} = \frac{l_r}{V_n};$$

$$t_{\text{ц}} = \frac{2R}{V_{\text{ц}}},$$

де $t_{\text{н}}$ - час проходження інтервалу між БПЛА.

Таким чином $\frac{l_{\text{г}}}{V_{\text{н}}} = \frac{2R}{V_{\text{ц}}}$, $l_{\text{і}} = l_{\text{г}} = 2R \frac{V_{\text{н}}}{V_{\text{ц}}} = 2Rm_{\text{н}}$.

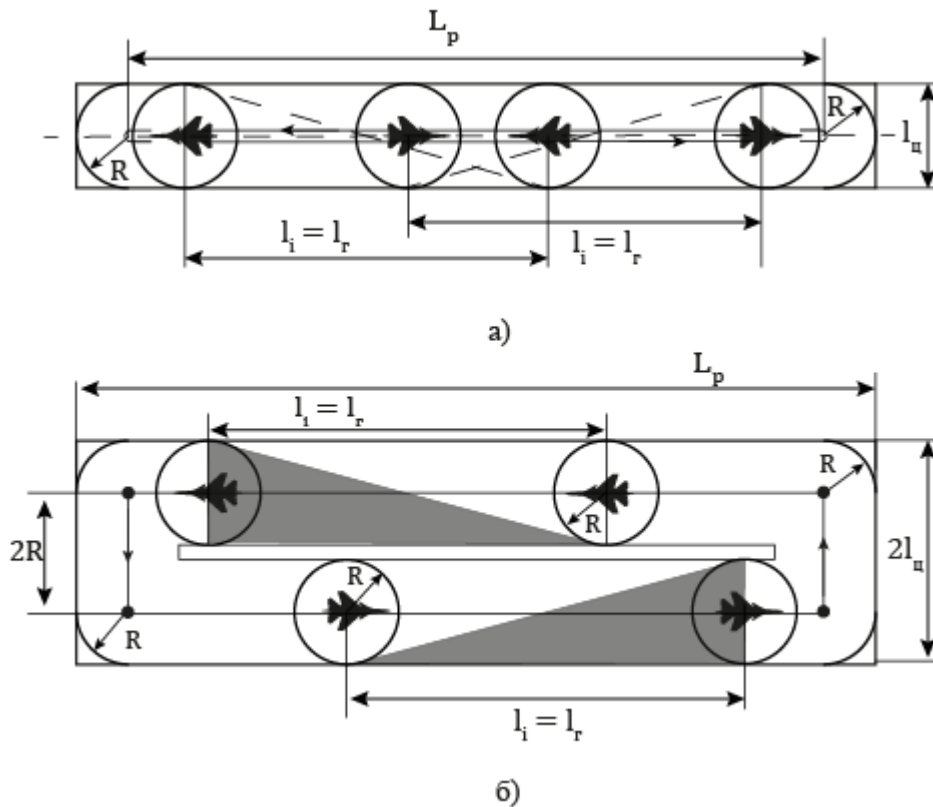


Рисунок 2.3 — Схеми патрулювання БПЛА: а - по лінії; б- по периметру прямокутника(схема «петлі») [16]

Така система забезпечує безперервне дворазове обстеження смуги розміром $2RL_p$, і отримання за час проникнення цілі двох контактів з нею, в будь-якій частині кордону.

З огляду на наявність зустрічних рухів пошукових одиниць в замкнутому ланцюзі спостерігачів, які патрулюють на лінії, для отримання одного контакту з ціллю можна прийняти $l_1 = 2l_r$.

Тоді необхідне число спостерігачів для патрулювання лінії довжиною L_p :

$$N = \frac{2L_p}{l_1} = \frac{2L_p}{4Rm_n} = \frac{L_p}{2Rm_n} \quad (2.1)$$

Патрулювання по периметру прямокутника застосовується у випадках, коли необхідно збільшити глибину спостереження. В порівнянні з патрулюванням на лінії, патрулювання за схемою «петлі» (рис. 2.3, б), дозволяє вдвічі збільшити глибину кордону спостереження.

Для ілюстрації принципів побудови і розрахунку такої системи спостереження розглянемо систему у вигляді ланцюга з чотирьох спостерігачів, які маневрують за схемою «петлі», що має довжину $2l_r$, і ширину $2R$. Така система забезпечує створення кордону спостереження глибиною $4R$ і довжиною $L_p = 2l_r + 2R$.

На рис.2.3,б показана трішки спрощена схема зон встановлення контактів з ціллю для двох з чотирьох спостерігачів при їх русі уздовж петлі. Ця схема справедлива для $V_n \gg V_{ц}$, тобто, для ситуації, коли використання рухомих спостерігачів є суттєво вигідним. Для цього випадку так само $t_n \gg t_{ц}$, тому маємо:

$$t_n = \frac{2l_r}{V_n};$$

$$t_{ц} = \frac{4R}{V_{ц}}.$$

Якщо прирівняти праві частини і врахувати, що $l_i = l_r$, то маємо:

$$\frac{2l_r}{V_{\text{н}}} = \frac{4R}{V_{\text{ц}}};$$

$$l_i = l_r = 2R \frac{V_{\text{н}}}{V_{\text{ц}}} = 2Rm_{\text{н}}.$$

Така система забезпечує безперервне суцільне обстеження смуги розміром $4R(2l_r + 2R)$ і отримання за розглянутий час двох контактів з ціллю.

Для системи спостереження, яка повинна забезпечити отримання лише одного контакту з ціллю за час її проникнення через кордон $l_i = l_r = R \frac{V_{\text{н}}}{V_{\text{ц}}} = Rm_{\text{н}}.$

Тоді необхідна кількість спостерігачів :

$$N = \frac{2(L_p - 2R) + 2 \cdot 2R}{l_i} = \frac{L_p}{2Rm_{\text{н}}} \quad (2.2)$$

Отримана формула аналогічна формулі (2.1). Це свідчить про те, що з точністю прийнятих раніше припущень перехід з лінійного патрулювання на «петлю» не потребує збільшення наряду пошукових сил, хоча і забезпечує подвійне збільшення глибини спостереження [12].

Таким чином формування загальної зони завад забезпечується станціями завад БПЛА(малопотужними) та потужною наземною станцією радіозавад.

3 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

3.1 Принципи формування завад

Просторово рознесені або багатоточкові завади є одними з найбільш ефективних завад. Вони придатні для придушення різних радіоелектронних систем, важко придушуються суміщеними завадами. В першу чергу сюди відносяться моноімпульсні радіопеленгатори і багатопозиційні радіосистеми.

Фізична причина ефективності просторово рознесених завад проти моноімпульсних і інших кутомірних каналів полягає в тому, що ці завади, які випромінюються з рознесених точок в просторі, змінюють орієнтацію фазового фронту електромагнітної хвилі, яка приходить на радіопеленгатор. При цьому створюються помилкові пеленги (помилкові цілі). Просторово-часові параметри хибних цілей, які сильно відрізняються від відповідних параметрів справжніх цілей. Зокрема, відрізняються і справжні пеленги. При цьому будь-який радіопеленгатор (амплітудний, фазовий, взаємкореляційний, з лінійним і конічним скануванням) в однаковій мірі виводиться в напрямку хибної цілі, оскільки будь-який зі згаданих приладів в якості пеленга оцінює напрямки нормалі до фазового фронту електромагнітної хвилі, падаючої на розкрит прийомної антени.

З точки зору фізичних принципів дії на РЕЗ розрізняють наступні класи просторово рознесених завад:

1. Маскувальні шумові просторово рознесені завади. Якщо в будь-яку винесену точку (точки) поставити сильні шумові завади будь-якого типу, то вони, впливаючи на канал прийому РЛС, маскують виявлення і стеження за невипромінюючими цілями, зосередженими в певній зоні простору ("зонне маскування").
2. Хибні цілі. Будь-яка винесена точка з ретранслятором може служити хибною ціллю з координатами (в тому числі кутовими), відмінними від

координат справжньої цілі. Як правило, на хибних цілях ставиться апаратура імітаційних завад, мало відмінних від корисних сигналів.

3. Перенацілювальні просторово рознесені завади. Завада, що створює хибну ціль і перенацілює на себе будь-який радіоелектронний засіб (радіопеленгатор, багатопозиційна РЛС і т.п.), вважається перенацілюючою просторово рознесеною завадою. В якості проміжної операції тут потрібна операція відведення РЕЗ (наприклад, радіопеленгатор) з пеленга справжньої цілі в сторону хибної цілі. У ряді випадків доводиться застосовувати при перенацілюванні додаткові станції завад, які відводяться. Іноді обмежуються операцією зриву стеження за справжньою ціллю, а подальше захоплення хибної цілі здійснюється автоматично в процесі реалізації пошукової процедури в радіоелектронному засобі.

Існує дуже велика кількість різноманітних типів носіїв, які використовуються в якості винесених випромінювачів завад. Наприклад:

1. Пілотовані постановники завад.
2. Безпілотні літальні апарати (ДПЛА).
3. Будь-які літальні апарати, які повільно опускаються (парашути, автожири, крила, аеростати і т.п.) з активними передавачами завад одноразової дії (ПОД).
4. Будь-які пристосування, які здійснюють буксирування за літаком передавачів активних завад - буксирувані радіолокаційні пастки (БРП).
5. Відстрілюючі знаряди і ракети, що несуть передавачі перенацілюючих на себе завад (радіолокаційні пастки - РП).

При цьому один і той же носій може застосовуватися для різних цілей.

Так, шумові завади, як правило, застосовуються для цілей прикриття. Однак, розташовуючись на ракетах, вони можуть служити перенацілюючими радіолокаційними пастками. Імітаційні завади використовуються для створення некогерентних завад, важливими варіантами яких є мерехтливі завади.

Тактика використання просторово рознесених завод, в залежності від носія, дуже різноманітна.

Прикриття цілей від РЛС виявлення ілюструється рис.3.1. Нехай імпульсна РЛС виявлення випромінює через антену A імпульсний сигнал потужністю P_{ti} , так що її енергетичний потенціал дорівнює

$$(\text{EP})_i = P_{ti} G_A \tau_{(\text{H/CЖ})},$$

де G_A – КНД антени.

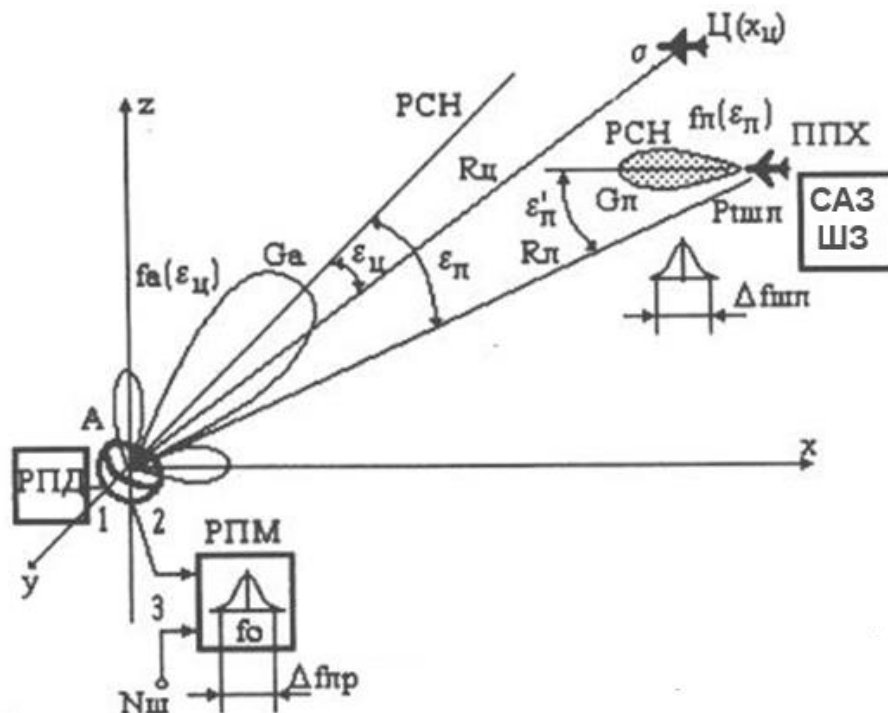


Рисунок 3.1 — Прикриття цілей від РЛС виявлення [10]

3.2 Вибір передавача ретрансляційних завод

Передавачі ретрансляційних завад знаходять найбільш широке застосування в системах радіоелектронного придушення (РЕП) в силу їх швидкодії при створенні прицільних за параметрами завад. Принцип дії передавача ретрансляційних завад полягає в прийомі сигналу

радіоелектронного засобу (РЕЗ), подавлення, посилення і модуляції його по амплітуді, фазі, частоті при необхідності і/або затримки і подальшому одноразовому або багаторазовому випромінюванні сформованого таким чином сигналу завади в напрямку РЕЗ, який подавляється.

Існує багато різних типів передавачів ретрансляційних завад. Найбільш широко застосовуються: простий ретранслятор імпульсних сигналів з амплітудною модуляцією, ретранслятор неперервних НВЧ-сигналів з частотною модуляцією, ретранслятор з рециркулятором радіоімпульсів амплітудної та частотної модуляцією, а також ретранслятор-імітатор радіолокаційних цілей на основі системи запам'ятовування сигналів. У багатьох випадках тип ретранслятора, призначеного для виконання поставленого завдання, визначається станом технологічних розробок основних компонентів, що входять до його складу.

У найпростішому вигляді передавач ретрансляційних завад складається з приймальної та передавальної антен, підсилювального тракту і модуляторів. Основними його технічними характеристиками, крім модуляційних, є його повний коефіцієнт підсилення і максимальна випромінювана потужність передавача.

Повний коефіцієнт підсилення ретрансляційного передавача для випадку самозахисту, дорівнює добутку коефіцієнтів підсилення антени і підсилювального тракту та визначається:

$$K_{\text{повн.ретл.}} = \frac{4\pi\sigma}{\lambda^2} \alpha_n.$$

Максимальна випромінювана потужність передавача

$$(P_n G_n)_{\text{max}} = PG \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 K_{\text{повн.ретл.}} = PG \frac{\sigma}{4\pi R_{\text{min}}^2} \alpha_n,$$

Де P_n — випромінювана потужність передавача РЛС; R_{\min} — мінімальна дальність подавлення.

Максимальна величина повного коефіцієнту підсилення ретранслятора обмежується досяжною розв'язкою між приймальної та передавальної антенами, яка визначає їх ДНА та особливостями розміщення апаратури завад на борту ЛА [10].

Підсилювальний тракт ретранслятора складається з послідовно з'єднаних широкосмугових НВЧ-підсилюючих приладів: ЛБХ і / або напівпровідникових підсилювачів. Широке поширення в ретрансляторах отримали ЛБХ, особливо в якості вихідних підсилювачів. З'єднання двох і більше ЛБХ утворює багатокаскадний підсилювач. Такий підсилювач має багато переваг, які зумовлюють його широке застосування в РЕП, так як: високе значення добутку коефіцієнта підсилення на ширину робочої смуги частот, дуже високу швидкодію, широкий динамічний діапазон, широкосмуговість і зручність в наділені підсилюючих сигналів завадовою модуляцією. З метою підвищення потужності при роботі на загальне навантаження ЛБХ можуть включатися в паралель. Дворежимна ЛБХ здатна виконувати функції двох ЛБХ – імпульсної та неперервного режиму підсилення.

Для передавачів завад прикриття необхідно забезпечити максимальну вихідну потужність, так як він прикриває групу ударних літаків на великій відстані від РЛС ППО власного об'єкта. Завдання отримання високої потужності випромінювання при використанні ЛБХ середньої потужності може бути вирішена шляхом побудови фазованої антенної решітки з ЛБХ в каналі кожного випромінюючого елемента.

Для індивідуального радіотехнічного захисту широко застосовуються дезорієнтуючі завади, в тому числі комбінація імпульсної і безперервної

шумової завади. Фазовані антенні решітки з ЛБХ в кожному випромінюючому елементі можуть бути використані, наприклад, в передавачах завад одноразової дії. Іноді в таких передавачах ЛБХ замінюють твердотільними підсилювачами.

Умови, в яких працюють передавачі завад одноразової дії, можуть бути дуже складними, наприклад, як у передавачів, що встановлюються в гарматному знарядді, але при розробці таких передавачів завад може бути з вигодою використана їх короткочасна робота. У них можуть встановлюватися магнетрони, які хоча і великогабаритні, але відносно недорогі.

Кожен каскад в підсилювачі повинен бути узгоджений з каскадами посилення ретранслятора в цілому. Тільки за такої умови будуть забезпечуватись наступні результуючі характеристики багатокаскадного підсилювача:

1. Широкий динамічний діапазон.
2. Мала нерівномірність коефіцієнта посилення від частоти.
3. Відносно слабка залежність вихідної потужності підсилювача від частоти.
4. Мінімальний коефіцієнт посилення слабких сигналів і необхідний посилення ретранслятора.
5. Максимальний коефіцієнт посилення сильних сигналів в діапазоні частот, визначаючий самозбудження за рахунок зовнішньої паразитного зв'язку. Коефіцієнт посилення багатокаскадного підсилювача обов'язково повинен регулюватися.
6. Високе значення відношення коефіцієнтів передачі підсилювача в час випромінювання сигналу і в паузі при формуванні дезорієнтуючих завад.

7. Мінімальний коефіцієнт шуму, що забезпечує скритність станції завад при відсутності радіолокаційного сигналу на вході, який дозволить здійснити наведення зброї по випромінюванню або пасивно супроводжувати ЛА зі станцій завад при випромінюванні нею тільки власних теплових шумів.
8. Досить висока стійкість ненавмисним завад.
9. Низький рівень гармонік і комбінаційних складових на виході.
10. Здатність здійснювати необхідні для формування завад операції, на-приклад, такі як зсув частоти, запам'ятовування, фазову, амплітудну або частотну модуляції.

На рис.3.2, (а) показана структурна схема існуючої системи РЕП. Передавач цієї системи підключається до комутуючих пристроїв що з'єднує його вихід з однією з чотирьох направлених антен.

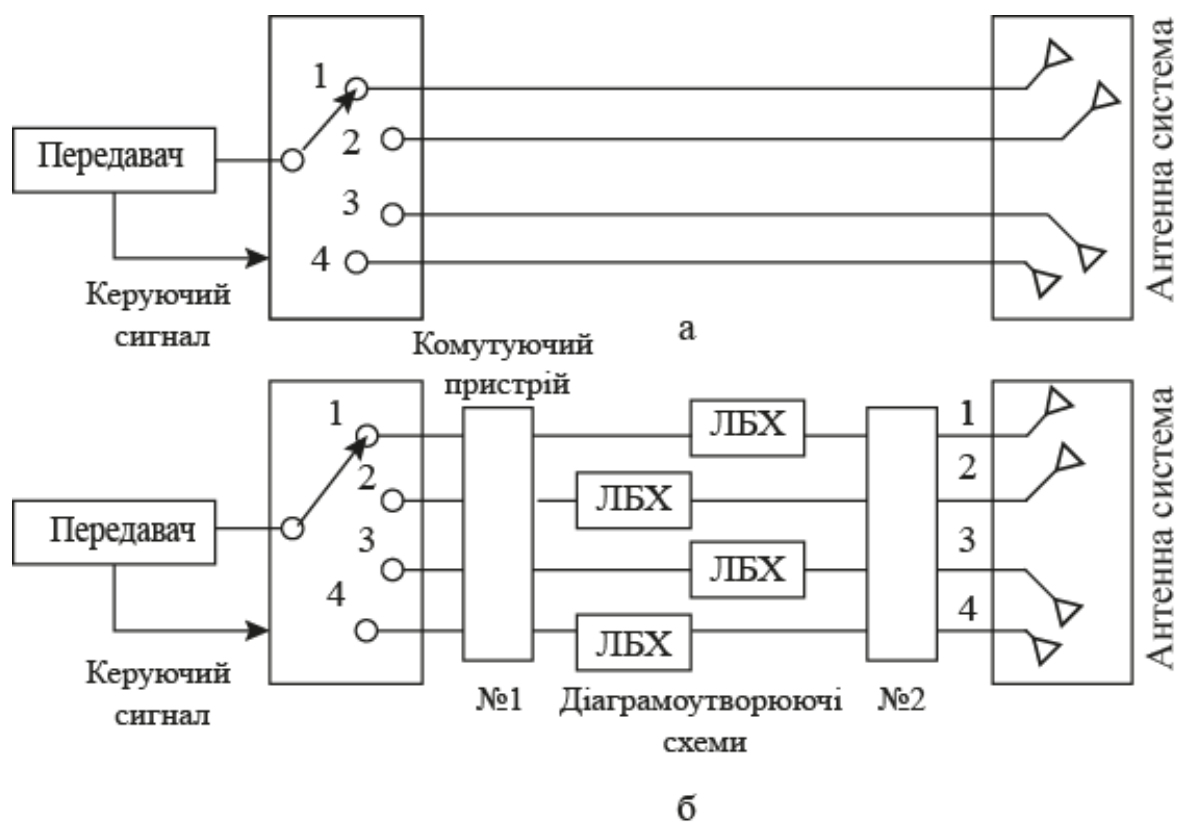


Рисунок 3.2 — Структурна схема існуючої системи РЕП (а), її модифікація з підвищеною вихідною потужністю (б) [10]

Для того щоб підвищити потужність цієї системи, в лінії, що з'єднує ком- мутуючий пристрій з антенами, включаються дві діаграмоутворюючі схеми і ЛБХ, як показано на рис.3.2, б. Структура обох діаграмоутворюючих схем однакова, але схема №2 розрахована на більш високу вихідну потужність. Кожна з цих схем може представити собою матричну схему Батлера. Сигнал, що надійшов на вхід 1 діаграмоутворюючої матричної схеми №1, ділиться порівну між чотирма каналами з ЛБХ, але в кожному каналі фази сигналів будуть різними. Ця різниця фаз обумовлюється тим, що після посилення ЛБХ всі сигнали надійшли на вихід 1 діаграмоутворюючої матричної схеми №2. Подібним чином всі номери входів схеми №1 збігаються з номерами виходів схеми №2. Вихідна потужність системи в цілому при цьому зростає в 4 рази за вирахуванням втрат в діаграмоутворюючих схемах і додаткових фідерних лініях. Застосування методу збільшення вихідної потужності призводить до підвищення коефіцієнта посилення системи в цілому. Для того, щоб в цих умовах отримати розв'язку, необхідно буде компенсувати посилення або вжити заходи щодо поліпшення розв'язки між антенами. Також повинна бути забезпечена у відомих межах ідентичність фазових характеристик ЛБХ. Вихідна потужність існуючої системи РЕП також може бути підвищена, якщо поставити ЛБХ в кожен антенний тракт системи. У цьому випадку, буде використовуватися посилення тільки однієї ЛБХ, що живить один випромінюючий елемент решітки, в той час як описана вище модифікація дозволяє використовувати для живлення цього випромінюючого елемента всі ЛБХ. Характерним є затримка перевипроміненого сигналу в ретрансляторі. Затримка сигналу в ретрансляторі представляє час, який необхідний на ретрансляцію сигналу, і відповідає інтервалу між надходженням радіолокаційного сигналу на антену ретранслятора і випромінюванням або передачею ретранслюються сигналу. Загальна затримка включає затримку в приймальній і передавальній антенних системах, в підсилювачі і імпульсному модуляторі ЛБХ, якщо така є, і затримку в логічному і

обробному пристрої. Імпульсним модулятором підсилюється кожен продетектований вхідний радіолокаційний імпульс і включає на час тривалості цього імпульсу потужний імпульсний підсилювач на виході ретранслятора. Затримка в ретрансляторі призводить до того, що ретранслюючий сигнал завади буде затриманий щодо відбитого радіолокаційного сигналу від цілі, на якій встановлено ретранслятор. Якщо затримка буде значною, то оператор РЛС може виявити завадовий імпульс і прийняти відповідні заходи щодо захисту від завади. Тому затримка в ретрансляторі повинна бути мінімальною [10].

Розглянемо структурну схему звичайного двокаскадного імпульсного ретранслятора (рис.3.3).



Рисунок 3.3 — Структурна схема ретранслятора[10]

Прийнятий радіолокаційний імпульс підсилюється вхідною ЛБХ, що працює в безперервному режимі. Потім посилений сигнал проходить через модулятор на вихід ЛБХ, що працює в імпульсному режимі, і передавальну антену. Сигнал з виходу першої ЛБХ надходить також в інший канал, де він детектується і використовується для імпульсної модуляції вихідної ЛБХ. У точці «А» знімається вхідний радіолокаційний імпульс. У точці «В» цей імпульс затримується з двох причин: через поширення в лінії передачі і через затримку при проходженні через перший підсилювач. Затримка в коаксіальних кабелях в межах їх робочого діапазону не залежить від частоти.

Вона прямо пропорційна квадратному кореню з діелектричної проникності матеріалу-наповнювача кабелю і може бути визначена як

$$t_3 = 10^6 \cdot lc(\epsilon)^{0.5},$$

де t_3 — затримка, мкс; c — швидкість світла ($3 \cdot 10^8$ м/с); ϵ — відносна діелектрична проникність матеріалу; l — довжина в метрах.

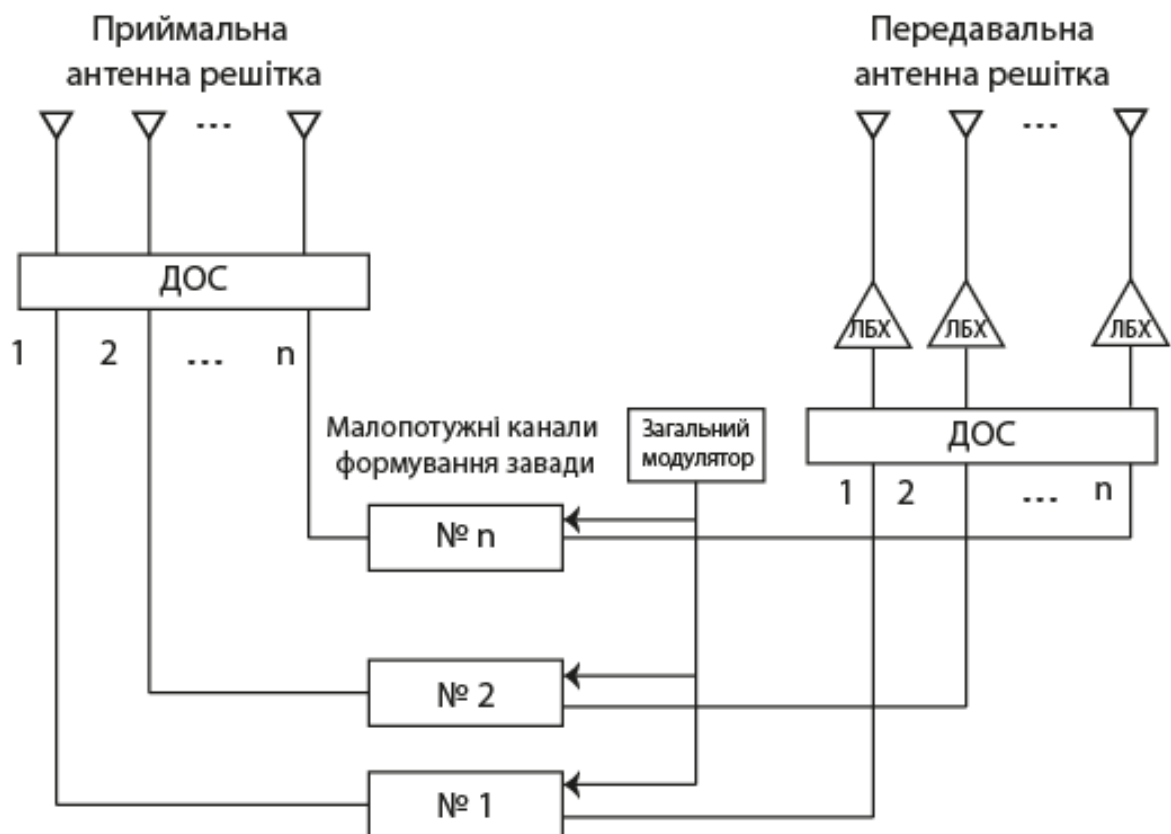


Рисунок 3.4 — Структурна схема ретранслятора з ФАР та діаграмоутворюючими схемами [10]

На рис.3.4 представлена структурна схема ретранслятора з двома ФАР, призначеними для прийому, передачі та створення імпульсної або безперервної завади. Конструкції решіток і діаграмоутворюючих пристроїв схожі, але вихідна решітка розрахована на більш високу потужність і в канал кожного її елемента включаються ЛБХ [31] які служать для посилення потужності ретрансляючої завади. Так як в формуванні променю беруть

участь всі елементи антеною решітки, ВСП ЛБХ підсилюють сигнал, що надходить на будь-який вхід (або входи) діаграмоутворюючого пристрою. Приймальна і передавальна антенні решітки встановлені так, що їхні осі паралельні. Радіолокаційний сигнал, що надходить у напрямку, відповідному каналу 1 приймальної антеною решітки, проходить через малопотужний тракт 1 ретранслятора, поступає на вхід 1 діаграмоутворюючого пристрою і випромінюється через елемент 1 передавальної решітки.

Таким чином, автоматично зберігається напрямок для всіх сигналів. Тут передбачується наявність великої кількості малопотужних ретрансляційних каналів для формування завади, але модуляція при формуванні сигналів завад різних типів у багатьох випадках може реалізовуватися загальними для всіх них пристроями.

Ці тракти можуть бути підключені в паралель до модулятора при формуванні завад наступних типів: відводячої завади по швидкості, завади системі АРП, завади РЛС з конічним скануванням модуляції з переналаштовуючою частотною і фазовою модуляцією. На практиці в таких ретрансляторах встановлюються порогові схеми і / або стробування прийому по бічних пелюстках ДН приймаючої. антени.

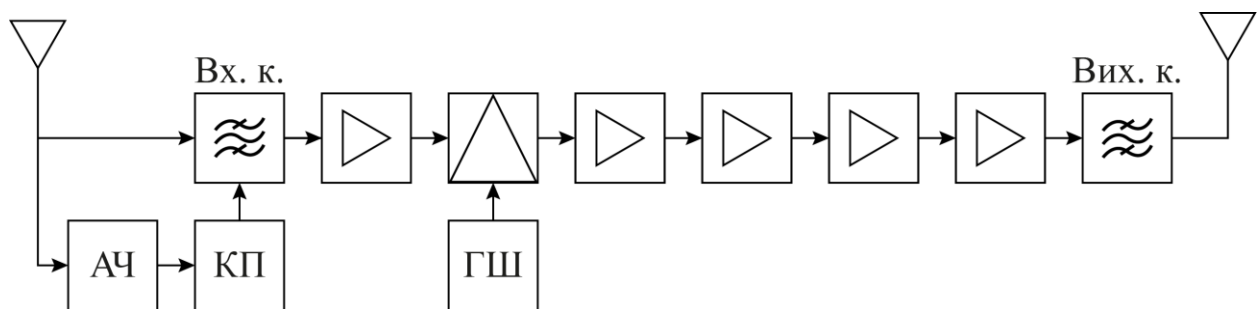


Рисунок 3.5 — Структурна схема ретранслятора завад

Представлена схема ретранслятора на рис.3.5, була обрана для створення завад. Перевагою схеми є простота, оскільки вона виконана на

стандартній елементній базі(транзисторах), на відміну від ретрансляторів на ЛБХ, які розробляються під конкретні задачі і не є стандартизованими.

3.3 Розрахунки радіопередавального тракту ретранслятора

Структурна схема передавача розраховується від вихідного каскаду до збуджувача [32,33]. Основними параметрами, які необхідно враховувати при розробці структурної схеми є потужність в навантаженні P_n , параметри навантаження, діапазон робочих частот та рід роботи передавача.

Радіопередавач навантажений безпосередньо на антену з $R_{вх.А} = 50 \text{ Ом}$.

Типові значення потужності коливань на виході автогенератора становлять 2–5 мВт.

Підсилення потужності коливань до заданого рівня у відбувається у наступних каскадах передавача (включно з вихідним каскадом, що працює на $R_{вх.А}$), які називаються генераторами із зовнішнім збудженням (ГЗЗ).

Основною схемою ГЗЗ є однотактна схема, до складу якої входить активний елемент (АЕ), джерело живлення (ДЖ), вихідне та вхідне кола узгодження (КУ), які здійснюють необхідну трансформацію відповідних опорів з метою забезпечення оптимального режиму роботи АЕ. Вхідне КУ доцільно відносити до попереднього каскаду підсилення, для якого це коло є вихідним. Енергетичним показником КУ є коефіцієнт корисної дії :

$$\eta_{ку} = \frac{P_{вих}}{P_{вх}}$$

значення якого залежить від типу КУ і лежить у межах 0,6...0,85. Більші значення характерні для каскадів більшої потужності. Таким чином АЕ має забезпечити коливальну потужність $P_{\sim Г}$ при потужності на виході ГЗЗ $P_{\sim вих}$:

$$P_{\sim \Gamma} = \frac{P_{\sim \text{вих}}}{\eta_{\text{ку}}}$$

Враховуючи, що між навантаженням та вихідним каскадом знаходиться схема узгодження з коефіцієнтом передачі $= 0,6 \dots 0,85$, потужність, яку повинен віддати вихідний каскад дорівнює :

$$P_{\text{вих1}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{су}}} = \frac{10}{0.8} = 12.5 \text{ Вт}$$

Каскади передавача побудовані за схемою додавання потужностей окремих ГЗЗ. Тому вихідна потужність окремого ГЗЗ у вихідному каскаді розраховується за формулою:

$$P_i = \frac{P_{\text{вих}}}{N \cdot \eta_{\Sigma}}$$

де N – кількість ГЗЗ, потужності яких додаються,
 $\eta_{\Sigma} = 0,9$ - ККД суматора потужностей.

$$P_{\sim \Gamma \text{З}} = \frac{12.5}{2 \cdot 0.89} = 7 \text{ Вт}$$

Обраний активний елемент для вихідного каскаду – транзистор 2Т913Б.

За експериментальними даними, приведеними в таблицях, визначається коефіцієнт передачі потужності транзистора $K_p = 14$ і розраховується необхідна вхідна потужність окремого ГЗЗ за формулою:

$$P_{\text{вх2}} = \frac{P_{\sim \Gamma \text{З}}}{K_p} = 0.502$$

Враховуючи коефіцієнт передачі вхідної схеми узгодження $\eta_{cy} = 0.8$ та ККД подільника потужності $\eta_d = 0.89$, визначається потужність, яку необхідно подати на вхід вихідного каскаду :

$$P_{вх33} = \frac{P_{вх3} \cdot 2}{\eta_{cy} \cdot \eta_d} = 1.409$$

Аналогічно, з врахуванням коефіцієнтів передачі міжкаскадних схем узгодження вибираються транзистори попередніх каскадів, визначаються напруги живлення, струми споживання та вхідні потужності до значення $P_{вх} = 2\text{--}5$ мВт, яку може забезпечити збуджувач.

$$P_{вх3} = \frac{P_{вх3}}{\eta_{cy}} = \frac{1.409}{0.8} = 1.761 \text{ Вт}$$

Розрахунок 2 каскаду:

$$P_{\sim \Gamma 2} = \frac{1.761}{2 \cdot 0.89} = 0.989 \text{ Вт}$$

Обраний активний елемент- транзистор КТ911Б з коефіцієнт передачі потужності $K_p = 40$.

$$P_{вх2} = \frac{P_{\sim \Gamma 2}}{K_p} = 0.025$$

$$P_{вх2} = \frac{P_{вх2} \cdot 2}{\eta_{cy} \cdot \eta_d} = 0.069$$

$$P_{вх22} = \frac{P_{вх2}}{\eta_{cy}} = \frac{0.069}{0.8} = 0.087 \text{ Вт}$$

Розрахунок 1 каскаду:

$$P_{\sim \Gamma 1} = \frac{0.087}{2 \cdot 0.89} = 0.049 \text{ Вт}$$

Обраний активний елемент- транзистор 2SA448 з коефіцієнт передачі потужності $K_p = 40$.

$$P_{\text{вх}1} = \frac{P_{\sim \Gamma 1}}{K_p} = 0.0012$$

$$P_{\text{вх}1} = \frac{P_{\text{вх}1} \cdot 2}{\eta_{\text{cy}} \cdot \eta_{\text{д}}} = 0.0034$$

$$P_{\text{вх}11} = \frac{P_{\text{вх}2}}{\eta_{\text{cy}}} = \frac{0.0034}{0.8} = 0.0042 \text{ Вт}$$

Отже, на вході радіопередавального пристрою маємо 4.2 мВт.

Структурна схема РПДП приведена в додатку А (рис. 3.6).

Розглянемо розрахунок генератора із зовнішнім збудженням (ГЗЗ). Першим етапом є розрахунок кола колектора.

Оскільки транзистори у вихідному каскаді працюють в граничному режимі з відсіканням струму вихідного електроду в режимі В, тому [35]:

$$\theta = 90^\circ; \alpha_0 = 0,32; \alpha_1 = 0,5; \alpha_2 = 0,21.$$

Розрахунок коефіцієнту використання колекторної напруги ($\xi_{\text{гр}}$).

$$\xi_{\text{гр}} = 0,5 + \sqrt{0,25 - \frac{2P_{\sim} \cdot r_{\text{нас}}}{\alpha_1 \cdot E_k^2}} = 0.724$$

Амплітуда високочастотного коливання напруги на колекторі:

$$U_k = E_k \cdot \xi_{\text{гр}} = 20.261 \text{ В}$$

Максимальна напруга на колекторі:

$$U_{km} = E_k + U_k = 48.2 \text{ В} < E_{KE. \text{ доп}}$$

Амплітуда першої гармоніки струму колектора:

$$I_{k1} = \frac{2P_{\sim}}{U_k} = 0.55$$

Максимальне значення струму колектора:

$$I_{km} = \frac{I_{k1}}{\alpha_1} = 1.1$$

Постійна складова струму колектора:

$$I_{k0} = I_{km} \cdot \alpha_0 = 0.35 < I_{k0\text{доп}}$$

Потужність джерела живлення:

$$P_0 = E_k \cdot I_{k0} = 9.8$$

Потужність, що виділяється на колекторі:

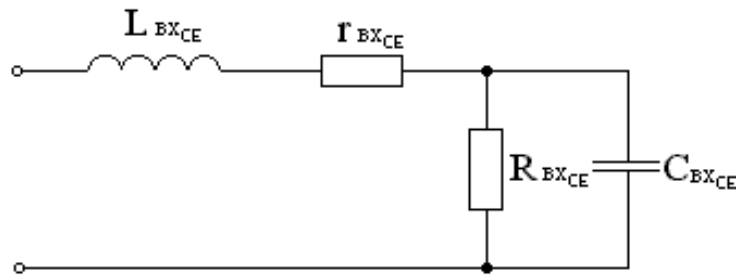
$$P_k = P_0 - P_{\sim} = 4.3 < P_{k\text{доп}}$$

ККД:

$$\eta = \frac{P_{\sim}}{P_0} = 0.567$$

Опір навантаження, який забезпечить граничний режим роботи транзистора

$$R_{\text{н.гр}} = \frac{U_k}{I_{k1}} = 0.567$$



Розглянемо розрахунок кола бази[35].

Рисунок 3.7 — Еквівалентна схема вхідного кола [35]

Додатковий опір, увімкнений між базою і емітером:

$$R_d = \frac{\beta_0}{2 \cdot \pi \cdot f_t \cdot C_E} = 28$$

$$Y = \frac{\beta_0 \cdot f}{f_t} = 14$$

$$A = 1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_k \cdot R_{н.гр} \cdot \beta_0 \cdot \alpha_1 \cdot \frac{Y}{(1 + Y)^2} = 0.093$$

$$B = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_k \cdot R_{н.гр} \cdot \left[1 + \beta_0 \cdot \frac{\alpha_1}{(1 + Y)^2} \right] = 1.907$$

$$X = \sqrt{A^2 + B^2} = 1.909$$

$$I_B = X \cdot \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{\beta_0 \cdot f}{f_t} \right)^2}}{\beta_0 \cdot \alpha_1} \cdot I_{k1} = 2.137$$

Максимальна зворотна напруга на емітерному переході:

$$|U_{BE_{max}}| = \left| -I_B \frac{R_d}{\sqrt{1+Y^2}} + E_{в\ddot{u}дс} \right| = 3.5$$

Постійні складові:

$$I_{B0} = \frac{I_{k0}}{\beta_0} = 0.025$$

$$I_{E0} = I_{k0} + I_{B0} = 0.378$$

Величини елементів еквівалентної схеми:

$$L_{BXCE} = L_{\bar{b}} + \frac{L_E}{X} = 2.631 \cdot 10^{-9}$$

$$r_{BXCE} = \frac{1}{X} \left[(1 + \alpha_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_t \cdot C_{ka} \cdot R_{н.гр}) r_{\bar{b}} + r_E + \alpha_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_t \cdot L_E \right] = 1.9$$

$$R_{BXCE} = \frac{1}{X} [r_{\bar{b}} + (1 + \alpha_1 \cdot \beta_0) r_{\bar{b}}] - r_{BXCE} + R_d (1 - \alpha_1) = 13.3$$

Значення елементів приведеної схеми вхідного кола транзистора :

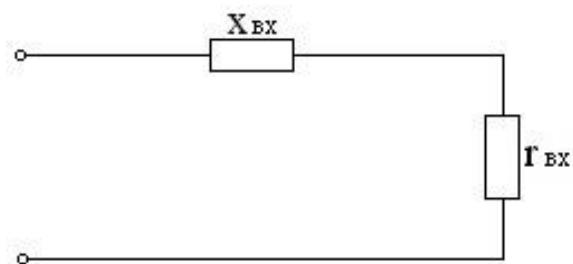


Рисунок 3.8 — Схема вхідного кола транзистора [35]

$$x_{BX} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{BXCE} - \frac{R_{BXCE} \cdot \frac{\beta_0 \cdot f}{f_t}}{1 + Y^2} = 15.59$$

$$r_{\text{BX}} = r_{\text{BXCE}} + \frac{R_{\text{BXCE}}}{1 + Y^2} = 2.028$$

$$Z_{\text{BX}} = r_{\text{BX}} + ix_{\text{BX}} = 2.028 + i15.59$$

Потужність, що розсіюється на r_{BX} :

$$P_{\text{BX}} = 0.5 \cdot I_{\text{б}}^2 \cdot r_{\text{BX}} = 4.631$$

Потужність розсіювання на опорі $R_{\text{д}}$:

$$P_{R_{\text{д}}} = \frac{(U_{\text{BEmax}} + E_{\text{відс}})^2}{2R_{\text{д}}} = 0.32$$

Коефіцієнт передачі потужності транзистора:

$$K_p = \frac{P_n}{P_{\text{BX}} + P_{R_{\text{д}}}} = 2.02$$

Повна потужність, що розсіюється в транзисторі:

$$P_{\text{тр}} = P_{\text{BX}} + P_{\text{к}} = 8$$

Розрахунок кола зміщення переходу база-емітер АЕ, схема якого приведена на рис.3.9.

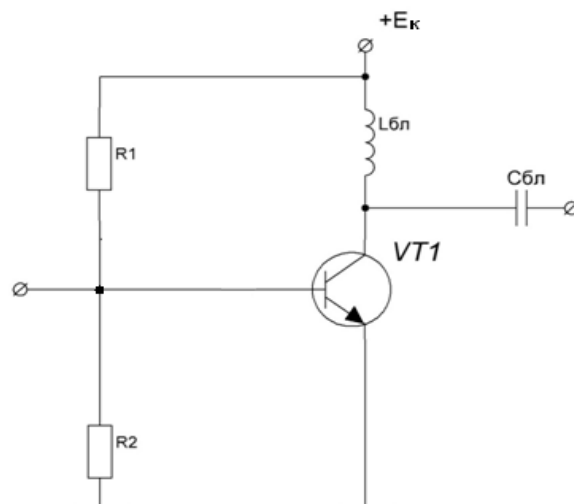


Рисунок 3.9 — Коло зміщення переходу база-емітер АЕ [35]

Величини опорів R_1 і R_2 для класу В вибираються із умови:

$$\frac{E_k \cdot R_2}{R_1 + R_2} = E_{\text{відс}}$$

$$\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = R_d$$

Необхідно перевірити, щоб потужність розсіювання на резисторах кола зміщення не перевищувала значення:

$$P_{\text{зм}} = \frac{E_k^2}{R_1 + R_2} < (0.05 \dots 0.15) P_{\sim \Gamma}$$

Вибір величин блокувальних дроселів та конденсаторів:

$$X_{L_{\text{бл}}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\text{бл}} < (20 \dots 50) R_{\text{нгр}}$$

$$X_{C_{\text{бл}}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_{\text{бл}}} < \frac{R_{\text{нгр}}}{(20 \dots 50)}$$

В результаті проведених розрахунків можемо отримати електричну принципову схему вихідного каскаду РПдП, яка розміщена в додатку Б (рис.3.10).

Наступний етап – розробка синфазної схеми додавання потужностей.

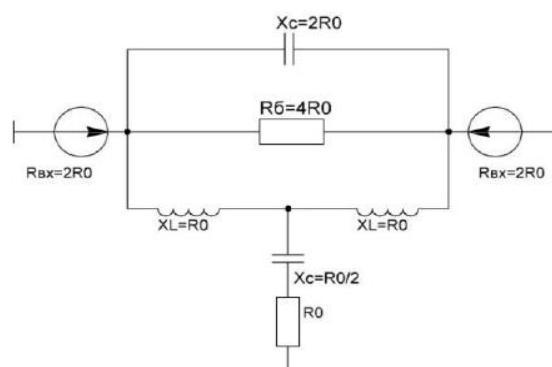


Рисунок 3.11 — Мостова схема для побудови синфазних схем [35]

Синфазні схеми додавання потужностей будуються за мостовими схемами [35], варіант такої схеми приведений на рис.3.11.

Увімкнувши генератор на місце навантаження, отримуємо схему ділення потужності.

$$R_{\text{вх}} = 100 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{б}} = 200 \text{ Ом}$$

$$x_{c1} = 100 \text{ Ом}$$

$$x_l = 50 \text{ Ом}$$

$$x_{c2} = 25 \text{ Ом}$$

$$R_0 = 50 \text{ Ом}$$

$$R_1 = 1 \text{ кОм}$$

$$R_2 = 28 \text{ Ом}$$

$$L_{\text{бл}} = 0.3 \text{ мкГн}$$

$$C_{\text{бл}} = 0.14 \text{ нГн}$$

Розрахунок вузькосмугових вихідних схем узгодження на LC.

Допустима потужність та амплітуда струму II гармоніки в навантаженні:

$$P_{\text{Н2доп}} = P_{\text{н}} \cdot 10^{\frac{a_{\text{доп}}}{10}} = 0.1 \text{ мВт}$$

$$I_{\text{Н2доп}} = \sqrt{\frac{2P_{\text{Н2доп}}}{R_{\text{н}}}}$$

Амплітуда струму II гармоніки на вході СУ

$$I_{K2} = \frac{I_{K1}}{\alpha_1} \cdot \alpha_1 = 0.234$$

Необхідний коефіцієнт фільтрації:

$$\Phi_{\text{необх}}^2 = \frac{I_{k2}^2}{I_{H2\text{доп}}^2} = 1.373 \cdot 10^4$$

$$a_{\phi} = 10 \log \Phi_{\text{необх}}^2 = 41 \text{ дБ}$$

Необхідна кількість елементів СУ для забезпечення розрахованого коефіцієнта фільтрації:

$$m \approx (0.05 \dots 0.1) a_{\phi} = 0.1 \cdot a_{\phi} = 4.138 \approx 5$$

Розрахунок для СУ «П» - типу $m = 5$, схема якої приведена на рис.3.12.

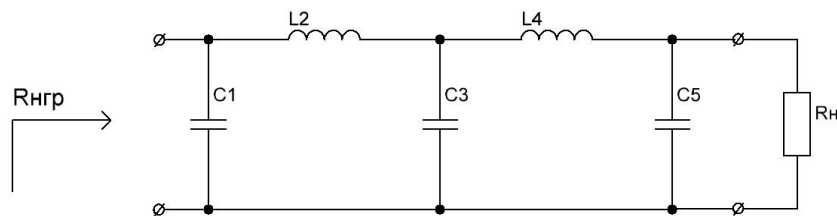


Рисунок 3.12 — Схема узгодження П – типу [35]

Для спрощення розрахунків розбиваємо схему на елементарні ланки, як показано на рис.3.13.

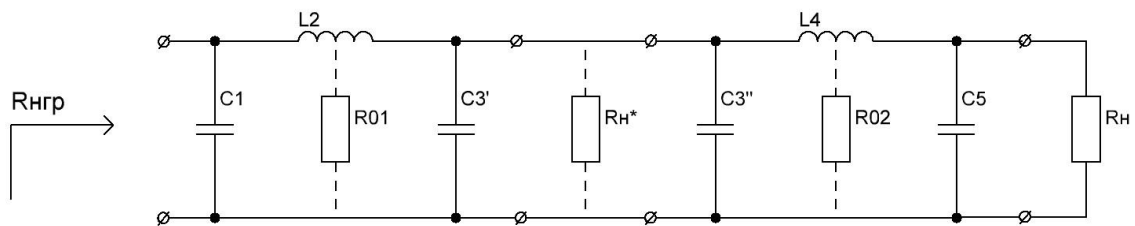


Рисунок 3.13 — Елементарні ланки схеми узгодження П – типу [35]

Величини елементів схеми:

$$R_n^* = \sqrt{R_{н.гр} \cdot R_n} = 43 \text{ Ом}$$

$$R_{01} = \frac{R_{min}}{8} = 3.5 \text{ Ом}$$

$$R_{02} = \frac{R_{min}}{4} = 7 \text{ Ом}$$

$$C_1 = 0.3 \text{ нФ}$$

$$C_3 = 0.25 \text{ нФ}$$

$$C_5 = 0.25 \text{ нФ}$$

$$L_2 = 0.04 \text{ нГн}$$

$$L_4 = 0.08 \text{ нГн}$$

Визначаємо ККД СУ : $\eta = 0.85 = 85\%$

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі магістерської дисертації визначено основні потенційно шкідливі та небезпечні виробничі фактори, які мають місце при виконанні науково-дослідної роботи. Так як дана робота має дослідницький напрям, пов'язаний, в основному, з використанням ЕОМ, основну увагу було приділено питанню щодо забезпечення безпеки та комфортних умов на робочих місцях користувачів ЕОМ.

В цьому розділі запропоновані технічні рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії, а також основні заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

4.1 Визначення основних потенційно небезпечних і шкідливих виробничих чинників при виконанні науково–дослідної роботи.

Основу роботи складають дослідження з використанням електронно – обчислювальних машин (ЕОМ), тому існує небезпека ураження електричним струмом, можливий негативний вплив електромагнітного випромінювання ВДТ ПЕОМ.

До основних небезпечних та шкідливих факторів при проведенні наукових досліджень можна віднести:

- незадовільні мікрокліматичні умови;
- недостатня освітленість робочих місць;
- небезпека ураження електричним струмом;
- наявність електромагнітного випромінювання;
- підвищений рівень шуму;
- наявність шкідливих речовин в повітрі робочої зони;
- можливість виникнення пожежі тощо;
- група психофізичних факторів: перевантаження фізичне та психологічне;

4.2 Технічне рішення та організаційні заходи з безпеки і гігієни праці та виробничої санітарії.

4.2.1 Електробезпека

Відповідно до ДСТУ ІЕС 61140:2015 електроустаткування в робочому приміщенні (крім ВДТ ПЕОМ - II клас та вимірювальної техніки – 0I клас) відноситься до I класу, так як воно має робочу ізоляцію і підключається до електромережі за допомогою трьохконтактних вилок, один з виводів яких підключений до заземленого виводу розетки. Підключення устаткування виконане відповідно до вимог ПУЕ-2017 й ДНАОП 0.00-1.21-98.

Робоче приміщення нежарке, сухе, відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки поразки персоналом електричним струмом, оскільки відносна вологість повітря не перевищує 75%, температура не більше 35°C, відсутні хімічно агресивні середовища (ПУЕ-2017), а також відсутня можливість одночасного дотику до металоконструкцій будівлі, що мають контакт із землею, та до струмопровідних елементів електроустаткування. Живлення електроприладів у робочому приміщенні здійснюється від трьохфазної мережі із глухозаземленою нейтраллю напругою 220 В і частотою 50 Гц із використанням автоматів струмового захисту. У приміщенні застосована схема занулення.

Для зменшення значень напруг дотику й відповідних їм величин струму, при нормальному й аварійному режимах роботи електроустаткування необхідно виконати повторне захисне заземлення нульового дроту. Виконаємо електричний розрахунок електромережі на перевірку вимикаючої здатності автоматів струмового захисту.

Розрахунок на вимикаючу здатність, включає визначення значення струму $K.3.$ і перевірку кратності його стосовно номінального струму пристроїв максимального струмового захисту. Вихідні дані для розрахунку:

а) $U_{\phi} = 220 \text{ В}$ – фазова напруга;

б) кабель чотирьох жильний, матеріал – алюміній ($\rho = 0,028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$);

в) відстань від трансформатора до споживача (L) = 130м;

г) Автомат класу В, номінальний струм спрацювання автомата захисту ($I_{\text{ном}}$) = 16 А. Струм однофазного К.З. визначається за формулою 4.1:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\phi} + R_0 + \frac{Z_T}{3}} = \frac{220}{2 + 2,1 + 0,0863} = 52,5 \text{ А}, \quad (4.1)$$

де:

$R_{\phi} = 2 \text{ Ом}$ – активний опір фазного проводу;

$R_0 = 2,1 \text{ Ом}$ – активний опір нульового проводу;

$Z_T/3 = 0,0863 \text{ Ом}$ – розрахунковий опір трансформатора потужністю 100 кВт.

Для надійної роботи автомату захисту повинна виконуватись наступна вимога:

$$K_M = \frac{I_{\text{к.з.}}}{I_{\text{ном}}} > 1,45$$

де $I_{\text{к.з.}}$ – струм короткого замикання; $I_{\text{ном.}}$ – номінальний струм спрацювання автомату захисту.

$$K_M = 3,28$$

З розрахунків видно, що при однофазному К.З. автомат струмового захисту буде надійно спрацювати.

При однофазному К.З. максимальне значення напруги яка появиться на корпусі при аварійному режимі за час спрацювання максимального струмового захисту, $U_{\text{мах.}}$ щодо землі: $U_{\text{мах.}} = I_{\text{к.з.}} R_0 = 52,5 \cdot 2,1 = 110,2 \text{ В}$. Ця напруга менша $U_{\text{доп}} = 450 \text{ В}$ ($t_{\text{дії}} < 0,2 \text{ сек.}$) згідно ІЕС 60479-2(2017). З метою зниження $U_{\text{мах.}}$ як у нормальному, так і у аварійному режимі варто використовувати повторне заземлення нульового дроту.

4.2.2 Правила безпеки під час експлуатації електронно-обчислювальних машин

Правила безпеки під час експлуатації ВДТ ЕОМ регламентуються НПАОП 0.00-7.15-18, які встановлюють вимоги безпеки та санітарно-гігієнічні вимоги до обладнання робочих місць користувачів ЕОМ і працівників, що виконують обслуговування, ремонт та налагодження ЕОМ, та роботи з застосуванням ЕОМ, відповідно до сучасного стану техніки та наукових досліджень у сфері безпечної організації робіт з експлуатації ЕОМ та з урахуванням положень міжнародних нормативно-правових актів з цих питань (директиви Ради Європейського Союзу 90/270/ЄЕС, 89/391/ЄЕС, 89/654/ЄЕС, 89/655/ЄЕС, стандарти ISO, МРПІІ).

4.2.3 Вимоги до приміщень в яких розміщені ЕОМ

Облаштування робочих місць, обладнаних ЕОМ, ВДТ, повинно забезпечувати:

- належні умови освітлення приміщення і робочого місця, відсутність відблисків;
- оптимальні параметри мікроклімату (температура, відносна вологість, швидкість руху, рівень іонізації повітря);
- належні ергономічні характеристики основних елементів робочого місця;

Будівлі та приміщення, в яких експлуатуються ЕОМ та виконуються їх обслуговування, налагодження і ремонт, повинні відповідати вимогам: НАПБ В.01.056-2013/111 та ДСТУ ISO 9241-5:2004

Заборонено розміщувати робочі місця з ВДТ, ЕОМ у підвальних приміщеннях, на цокольних поверхах, поряд з приміщеннями, в яких рівні шуму та вібрації перевищують допустимі значення (поряд з механічними цехами, майстернями тощо), з мокрими виробництвами, з вибухопожежонебезпечними приміщеннями категорій А і Б, а також над такими приміщеннями або під ними.

Приміщення мають бути обладнані системами водяного опалення, кондиціонування або припливно-витяжною вентиляцією відповідно до ДБН В.2.5-67:2013.

Згідно з НПАОП 0.00-7.15-18 площу приміщень визначають із розрахунку, що на одне робоче місце вона має становити не менше ніж 6 м^2 , а об'єм не менше ніж 20 м^3 з урахуванням максимальної кількості осіб, які одночасно працюють у зміні. Приміщення являє собою кімнату розміром $6 \times 6 \text{ м}$, висотою 4 м . Розмір дверного прорізу 1.5 м .

Площа й об'єм приміщення знаходимо за формулами:

$$S = ab,$$

$$V = Sh,$$

де a – довжина, b – ширина, h – висота приміщення.

Маємо:

$$S = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2, V = 36 \cdot 4 = 144 \text{ м}^3.$$

Зведемо нормативні та фактичні дані приміщення в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 — Параметри приміщення

Назва характеристики	Нормативне	Фактичне
Площа приміщення з розрахунку	$>6 \text{ м}^2$	36 м^2
Об'єм приміщення з розрахунку на 1	$>20 \text{ м}^3$	144 м^3
Висота приміщення	$3,5 - 4 \text{ м}$	4 м
Розміри дверей	$\geq 1,1 \times 1,8 \text{ м}$	$1,5 \times 2 \text{ м}$
Відстань від стіни зі світловими прорізами до ВДТ	$\geq 1 \text{ м}$	$1,5 \text{ м}$

На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що геометричні розміри приміщення цілком відповідають нормативним вимогам.

Оздоблюють стіни, стелю, підлогу приміщення з матеріалів, які дозволені органами державного санітарно-епідеміологічного нагляду.

Заборонено застосовувати полімерні матеріали (деревостружкові плити, шпалери, що можна мити, рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик, тощо), що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини. За розміщенням робочих місць з ВДТ, ЕОМ потрібно витримувати такі відстані: від стін зі світловими прорізами не менше 1 м; між бічними поверхнями ВДТ не менше 1,2 м; між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не менше 2,5 м; прохід між рядами робочих місць не менше 1 м. Робочі місця з ВДТ щодо світлових прорізів розміщують так, щоб природне світло падало збоку, переважно зліва. Екран ВДТ і клавіатура мають розміщуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не ближче 0,6 м з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків і символів. Розміщення екрана ВДТ має забезпечувати зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом $\pm 30^\circ$ від лінії зору працівника.

Усі вище перераховані вимоги відповідають робочому приміщенню, де проводяться дослідження.

4.2.4 Відповідність параметрів мікроклімату в робочій зоні санітарним нормам

Для нормалізації мікроклімату, згідно з ДСН 3.3.6.042–99. «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях», приміщення з ЗОТ обладнане системою опалення, а також системою кондиціонування повітря з індивідуальним регулюванням температури та об'єму повітря, що подається, у відповідності до ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Для захисту від перегрівання в теплий період року та радіаційного охолодження — в зимовий, приміщення обладнане жалюзі і екранами.

На робочому місці роботи виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження. Таким чином їх можна віднести до категорії Ia, що охоплює види діяльності з витратами енергії до 120 ккал/год.

Відповідно до ДСН 3.3.6.042–99 «Державні санітарні норми параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях» параметри мікроклімату, що нормуються: температура (t, C) і відносна вологість ($W, \%$) повітря, швидкість руху повітря ($V, м/с$).

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт та період року) наведені в табл.4.2.

Фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні відповідають приведеним вище нормам ДСН 3.3.6.042–99.

Таблиця 4.2 — Параметри мікроклімату.

Період Року	Оптимальні			Допустимі		
	t, C	$W, \%$	$V, м/с$	t, C	$W, \%$	$V, м/с$
Теплий	23-25	40-60	0,1	22-28	55	0,2-0,1
Холодний	22-24	40-60	0,1	21-25	75	$\leq 0,1$

4.2.5 Вимоги до освітлення робочих місць користувачів відеодисплейних терміналів персональних електронно–обчислювальних машин.

Приміщення з ЕОМ повинні мати природне і штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 Природне і штучне освітлення. Природне світло повинно проникати через бічні світлопрорізи, зорієнтовані, як правило, на північ чи північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 %. Розрахунки коефіцієнта природної освітленості проводяться відповідно до ДБН В.2.5–28– 2006. Приміщення з ВДТ, ЕОМ мають бути оснащені природним і штучним освітленням відповідно до ДБН В.2.5–28–2006. Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, які орієнтовані переважно на північ чи північний схід і обладнані регульовальними пристроями відкривання та жалюзями, завісками, зовнішніми козирками.

Приміщення має бічне природне та штучне освітлення, центральне водяне опалення. У приміщенні три вікна розміром 2х2,2 м. Штучне освітлення забезпечує чотири люмінесцентних світильники з лампами ЛБ – 40, розміщених у ряд.

Отже, усі вимоги до освітлення робочого місця відповідають параметрам

освітлення приміщення, де проводяться дослідження.

4.2.6 Виробничий шум

Для умов, що розглядаються в проекті характеру роботи, який можна класифікувати як роботу програміста обчислювальної машини у лабораторії для теоретичних робіт та обробки даних, рівні шуму визначені ДСН 3.3.6.037– 99. «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Допустимі рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот представлені у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 — Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкосмугового (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих									Допустимий рівень звуку (дБ)
	31, 5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Інженер лабола– торії	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Джерелами шуму в умовах робочого приміщення, що розглядається в роботі є вентилятори охолодження внутрішніх систем персонального

комп'ютера (вентилятори блоку живлення, радіатора процесора та відеокарти) і система кондиціонування повітря.

Очікувані рівні звукового тиску і рівень звуку відповідно до шумових характеристик цих джерел:

- рівень шуму, створюваний внутрішніми елементами персонального комп'ютера дорівнює 35 дБ;
- рівень шуму системи кондиціонування на низьких/високих частотах дорівнює 25/30 дБ.

Оскільки одержаний рівень звуку не перевищує допустимих норм, умови робочого приміщення повністю відповідають існуючим санітарним вимогам.

4.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Основними складовими частинами плану локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС), що регулює дії персоналу в надзвичайних ситуаціях, є розробка технічних рішень та організаційних заходів щодо оповіщення, евакуації та дій персоналу у разі виникнення надзвичайних ситуацій, а також визначення основних заходів з пожежної безпеки.

4.3.1 *Обов'язки та дії персоналу у разі виникнення надзвичайної ситуації*

У разі виявлення ознак НС працівник, який їх помітив повинен:

- негайно повідомити про це засобами зв'язку органи ДСНС, вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, а також своє прізвище;
- повідомити про НС керівника, адміністрацію, пожежну охорону підприємства;
- організувати оповіщення людей про НС;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- вжити заходів щодо ліквідації наслідків НС з використанням наявних засобів.

Керівник та пожежна охорона установки, яким повідомлено про виникнення пожежі, повинні:

- перевірити, чи викликані підрозділи ДСНС;
- вимкнути у разі необхідності струмоприймачі та вентиляцію;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх евакуацію, та їх рятування, вивести за межі небезпечної зони всіх працівників, які не беруть участь у ліквідації НС;
- перевірити здійснення оповіщення людей про НС;
- забезпечити дотримання техніки безпеки працівниками, які беруть участь у ліквідації НС ;
- організувати зустріч підрозділів ДСНС та Державної пожежної охорони, надати їм допомогу у локалізації і ліквідації НС.

Після прибуття на НС підрозділів ДСНС та пожежної охорони повинен бути забезпечений безперешкодний доступ їх до місця, де виникла НС.

4.3.2 Вимоги щодо організації ефективної роботи системи оповіщення персоналу при надзвичайних ситуаціях.

Для підвищення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) пропонується встановлення системи оповіщення (СО) виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу у разі виникнення НС, наприклад при пожежі, здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.003-2014.

Оповіщення про НС та управління евакуацією людей здійснюється одним з наступних способів або їх комбінацією:

- поданням звукових і (або) світлових сигналів в усі виробничі приміщення будівлі з постійним або тимчасовим перебуванням людей;
- трансляцією текстів про необхідність евакуації, шляхи евакуації, напрямки руху й інші дії, спрямовані на забезпечення безпеки людей;
- трансляцією спеціально розроблених текстів, спрямованих на запобігання паніці й іншим явищам, що ускладнюють евакуацію;
- ввімкненням евакуаційних знаків "Вихід";

- ввімкненням евакуаційного освітлення та світлових показчиків напрямку евакуації;
- дистанційним відкриванням дверей евакуаційних виходів;

Як правило, СО вмикається автоматично від сигналу про пожежу, який формується системою пожежної сигналізації або системою пожежогасіння. Також з приміщення оперативного (чергового) персоналу СО (диспетчера пожежного поста) слід передбачати можливість запуску СО вручну, що забезпечує надійну роботу СО не тільки при пожежі, а і у разі виникнення будь-якої іншої НС.

Згідно з вимогами ДБН В.1.1-7-2016 необхідно забезпечити можливість прямої трансляції мовленнєвого оповіщення та керівних команд через мікрофон для оперативного реагування в разі зміни обставин або порушення нормальних умов евакуації виробничого персоналу.

Оповіщення виробничого персоналу про НС /пожежу/ здійснюється за допомогою світлових та/або звукових оповіщувачів – обладнуються всі виробничі приміщення.

СО повинна розпочати трансляцію сигналу оповіщення про НС (пожежу), не пізніше трьох секунд з моменту отримання сигналу про НС (пожежу).

Пульти управління СО необхідно розміщувати у приміщенні пожежного поста, диспетчерської або іншого спеціального приміщення (в разі його наявності). Ці приміщення повинні відповідати вимогам пунктів 1.6.13, 1.6.14, 1.6.15 ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту».

Кількість звукових та мовленнєвих оповіщувачів, їх розміщення та потужність повинні забезпечувати необхідний рівень звуку в усіх місцях постійного або тимчасового перебування виробничого персоналу.

Звукові оповіщувачі повинні комбінуватися зі світловими, які працюють у режимі спалахування, у таких випадках:

- у приміщеннях, де люди перебувають у шумозахисному спорядженні;
- у приміщеннях з рівнем шуму понад 95 дБ.

Допускається використовувати евакуаційні світлові покажчики, що автоматично вмикаються при отриманні СО командного імпульсу про початок оповіщення про НС /пожежу/ та (або) аварійному припиненні живлення робочого освітлення.

Вимоги до світлових покажчиків "Вихід" приймаються відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 "Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення".

СО в режимі "Тривога" повинна функціонувати протягом часу, необхідного для евакуації людей з будинку, але не менше 15 хвилин.

Вихід з ладу одного з оповіщувачів не повинен призводити до виведення з ладу ланки оповіщувачів, до якої вони під'єднанні.

Електропостачання СО здійснюється за I категорією надійності згідно з "Правилами улаштування електроустановок" (ПУЕ-2017) від двох незалежних джерел енергії: основного – від мережі змінного струму, резервного – від акумуляторних батарей тощо.

Перехід з основного джерела електропостачання на резервний та у зворотному напрямку в разі відновлення централізованого електропостачання повинен бути автоматичним.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у черговому режимі має бути не менш 24 годин.

Тривалість роботи СО від резервного джерела енергії у режимі "Тривога" має бути не менше 15 хвилин.

Звукові оповіщувачі повинні відповідати вимогам ДСТУ EN 54-3:2003 "Системи пожежної сигналізації. Частина 3. Оповіщувачі пожежні звукові".

Світлові оповіщувачі, які працюють у режимі спалахування, повинні бути червоного кольору, мати частоту мигтіння в межах від 0,5 Гц до 5 Гц та розташовуватись у межах прямої видимості з постійних робочих місць.

4.3.3 Пожежна безпека

Відповідно до ДСТУ Б.В.1.1-36:2016 робоче приміщення лабораторії

відноситься до категорії В по вибухопожежній небезпеці. Відповідно до ПУЕ-2017 та ДНАОП 0.00-1.32-01 клас робочих зон приміщення лабораторії по пожежонебезпеці – П-Па. Можливими причинами пожежі в приміщенні є несправність електроустаткування, коротке замикання проводки, і порушення протипожежного режиму (використання побутових нагрівальних приладів, паління). У зв'язку з цим, відповідно до вимог ПБЕ та ПУЕ-2017, необхідно передбачити наступні заходи:

1. Ретельну ізоляцію всіх струмоведучих провідників до робочих місць, періодичний огляд та перевірку ізоляції.
2. Строге дотримання норм протипожежної безпеки на робочих місцях.
3. Відповідні організаційні заходи (заборона паління, інструктаж).

Приміщення обладнане чотирма пожежними датчиками типу ДТЛ (площа, що знаходиться під захистом одного датчика, становить 15 м²), відстань між датчиками рівна 4 м, що відповідає нормам ДБНВ 2.5-56-2014. Відповідно до ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення й ISO 3941-2007 для гасіння пожежі в робочому приміщенні лабораторії (клас пожежі „Е” – наявність електрообладнання під напругою) використовуються два вогнегасники вуглекислотно-брометиленові ОУБ-3. Вибір вогнегасної речовини ґрунтується на тому, що у вогні можуть опинитись електричні пристрої, що знаходяться під напругою.

Таким чином, кількість, розміщення й вміст первинних засобів гасіння пожеж цілком задовольняють всім вимогам ДСТУ 8828:2019 й ISO 3941-2007. Крім того, у коридорі є 2 пожежних крана і ящик з піском. Дотримано усіх заходів безпеки відповідно до ГОСТ 12.3.019-80 і НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Дотримано усі вимоги ДБН В.1.1-7-2016 по вогнестійкості будинку і ширині евакуаційних проходів і виходів із приміщень назовні. Значення основних параметрів шляхів евакуації приведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 — Характеристики і норми евакуаційних виходів

Параметр	Фактичне значення	Норма
Висота дверних прорізів	2,0 м	Не менше 2 м
Ширина дверних прорізів	1,5 м	Не менше 0,8 м
Ширина проходу для евакуації	Більше 1,5 м	Не менше 1 м
Ширина коридору	3 м	Не менше 2 м
Число виходів з коридору	2	Не менше 2
Ширина сходової клітки	1,5 м	Не менше 1 м
Висота поруччя сходів	1 м	Не менше 0,9 м

5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Тема проекту: «Автономний БПЛА з ретранслятором та можливістю дистанційного керування».

Метою виконання даного розділу є проведення маркетингового аналізу стартап-проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

5.1 Опис ідеї проекту

В межах даного підрозділу аналізується зміст ідеї, можливі напрямки застосування, основні вигоди, які може отримати користувач товару та відмінності від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 5.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигода для користувача
Використання БПЛА з ретранслятором для імітації хибних цілей та створення завад.	Військовий	Можливість розширення зони завад за допомогою ретранслятора; Мобільність зони завад; Можливість використання автономного режиму та з дистанційним керуванням.

Основні конкуренти, що є на ринку «DJI», «Альбатрос».

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2 — Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.

№ п/п	Техніко- економічні характерист ики ідеї	Товари конкурентів			Слабк а сторо на	Нейтр альна сторо на	Силь на стор она
		Мій проект	Конкуре нт 1	Конкуре нт 2			
1	Автономніст ь	Висока	Середня	Висока			+
2	Максимальн а дальність польоту	Висока	Середня	Висока			+
3	Максимальн а висота польоту	Висока	Середня	Висока			+
4	Максимальн а злітна маса	Середня	Висока	Висока		+	

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводиться аудит технології за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Для реалізації даного проекту необхідно обрати технології реалізації. Варіанти наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 — Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність	Доступн
---	--------------	--------------------------	-----------	---------

п/п			технологій	ість техноло гій
1	Використання БПЛА з ретранслятором для імітації хибних цілей та створення завад.	Ретранслятор на ЛБХ	+	+
		Ретранслятор на транзисторах	+	+
Обрана технологія реалізації проекту: Ретранслятор на транзисторах				

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В межах даного підрозділу проводиться визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Визначення ринкових можливостей дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Таблиця 5.4 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Невідомо
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати	Невідомо

	характер обмежень)	
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Невідомо

Таблиця 5.5 — Характеристика потенційних клієнтів стартап- проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Вимоги споживачів до товару
	Потреба в мобільних зонах завад	ВПК	Висока автономність
	Потреба в дешевих засобах РЕП	ВПК	Надійність

Для проведення аналізу ринкового середовища необхідно скласти таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту та факторів, що йому перешкоджають.

Таблиця 5.6 — Фактори загроз та можливостей

Фактори загроз	Фактори можливостей
Складність забезпечення високої надійності	Можливість дешевого виробництва продукту

Таблиця 5.7 — Аналіз умов конкуренції в галузі за М. Портером

<i>Складові аналізу</i>	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>
	«ДІ», «Альбатрос»	«Меридіан», «Спайтек»	«Raveon»	ВПК
Висновки:	Інтенсивність конкурентної боротьби з боку прямих конкурентів висока	1.Є можливості входу в ринок в даній галузі. 2.Конкуренти потенційні. 3. Строки виходу товару на ринок не відомі.	Постачальники не диктують умови роботи.	Клієнти диктують умови роботи на ринку. Вимоги роботи згідно з ТЗ.

Таблиця 5.8 — Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування</i>
1	Простота	Простота схеми у реалізації
2	Дешевизна	Стандартизована елементна база

Таблиця 5.9 — Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Автономний БПЛА з ретранслятором та можливістю дистанційного керування»

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Бали 1-20</i>	<i>Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом, що розробляється</i>						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

1	Простота	20	+						
2	Дешевизна	20	+						

Таблиця 5.10 — SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Простота, дешевизна	Слабкі сторони: Невідома компанія Відсутність стартового капіталу
Можливості: Модульність системи	Загрози: Товари - замінники

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 5.11 — Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ п/п</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	ВПК	Повна	Високий	Велика	Середня

Таблиця 5.12 — Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ п/ п</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспромо жні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова страте гія розвитк у*</i>
-----------------------	---	--	--	---

1	Концентрований маркетинг	Стратегія спеціалізації	Зниження виробничих, збутових та рекламних витрат, впровадження інвестицій, спрямованих на зменшення витрат, ретельне опрацювання конструкції.	Концентрація на потребах одного цільового сегменту.
---	--------------------------	-------------------------	--	---

Таблиця 5.13 — Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Так	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 5.14 — Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до	Базова стратегія	Ключові
---	-----------	------------------	---------

<i>n/ n</i>	<i>товару цільової аудиторії</i>	<i>розвитку</i>	<i>конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>
1	Точність	Концентрація на потребах одного цільового сегменту.	Зниження виробничих, збутових та рекламних витрат, впровадження інвестицій, спрямованих на зменшення витрат, ретельне опрацювання конструкції.
2	Надійність		

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач.

Таблиця 5.15 — Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами</i>
1	Використання БПЛА з ретранслятором для імітації хибних цілей та створення завад.	Можливість розширення зони завад за допомогою ретранслятора; Мобільність зони завад; Можливість використання автономного режиму та з дистанційним керуванням.	Висока автономність, максимальна дальність та висота польоту.

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 5.16).

Таблиця 5.16 — Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>
I. Товар за задумом	Використання БПЛА з ретранслятором для імітації хибних цілей та створення завад
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	1. Дешевизна
	2.
	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо
	Пакування: наявне
III. Товар із підкріпленням	До продажу: невідомо
	Після продажу: невідомо
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: за рахунок комплексного поєднання властивостей і характеристик, які закладені не другому та третьому рівнях товару.	

Визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар

Таблиця 5.17 — Визначення меж встановлення ціни

<i>№ п/п</i>	<i>Рівень цін на товари- замінники</i>	<i>Рівень цін на товари- аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на</i>
------------------	--	--	---	--

				<i>товар/послугу</i>
1	2-50 тис.ум.од.	2-50 тис.ум.од	Невідомий	2-10 ис. ум.од.

5.6 Висновки за розділом

За результатами проведеного аналізу можна зробити висновок, що є можливість ринкової комерціалізації проекту, оскільки на ринку є попит на таку продукцію. Базовою стратегією розвитку є концентрація на потребах одного цільового сегменту. Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи концентрованого маркетингу: зниження виробничих, збутових та рекламних витрат, впровадження інвестицій, спрямованих на зменшення витрат, ретельне опрацювання конструкції.

ВИСНОВОК

Під час виконання магістерської дисертації було розроблено метод формування багатоточкових завад. Розглянуто принципи формування лінії спостереження та порядок патрулювання БПЛА у бар'єрній зоні. Розроблено сценарій поля бою. Складено модель інформаційного конфлікту, встановлено потенційну та реальну ефективності функціонування РЕС в умовах перехоплення інформації іншою стороною конфлікту та подальшого деструктивного впливу на РЕС. Також було розроблено передавач завад, який розташований на БПЛА, та маневрує в бар'єрній зоні та забезпечує ефективну радіопротидію..

Отримані результати дають можливість визначити реальні та потенційні можливості РЕС в умовах інформаційного конфлікту та встановити час, необхідний для виконання поставленої задачі. В результаті проведеного аналізу з'ясовано, які обмеження накладаються на характеристики РЕС. Результати аналізу можна використовувати в процесі модернізації існуючих РЕС, на початковому етапі проектування нових РЕС та в процесі розробки систем радіопротидії.

Основними засадами на яких базується метод формування багатоточкових завад є розміщення потужного передавача завад на поверхні землі, розміщення малопотужних передавачів завад на БПЛА, включення малопотужних передавачів завад в момент перетину БПЛА противника бар'єрної зони, що дає можливість економити енергетичні ресурси, вибір необхідного інтервалу між БПЛА, та кількість спостерігачів у бар'єрній зоні з урахуванням радіуса спостереження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вакин С. А. Основы радиопротиводействия и радиотехнической разведки/ С. А. Вакин, Л. Н. Шустов., 1968. – 448 с.
2. Бакут П. А. Вопросы статистической теории радиолокации / П. А. Бакут, И. А. Большаков, Г. П. Тартаковский., 1963. – 426 с. – (1).
3. Куприянов А. И. Теоретические основы радиоэлектронной борьбы. Учебное пособие. / А. И. Куприянов, А. В. Сахаров., 2007. – 356 с. — ISBN 5-9502-0223-6.
4. Сергиевский Б. Д. Опыт создания импульсных ответных завад каналу автоматического сопровождения самолета по дальности наземны радиолокационных станций. / Б. Д. Сергиевский, Л. М. Юдин. // Военная радиоэлектроника. – 1959. – №26.
5. Леонов А. И. Моноимпульсная радиолокация / А. И. Леонов, К. И. Фомичев., 1984. – 312 с.
6. Вакин С. А. Основы радиоэлектронной борьбы. Учебное пособие, ч. 1./ С. А. Вакин, Л. Н. Шустов., 1998. – 421 с.
7. Фомичев К. И. Основные методы и техника радиоэлектронного подавления угломерных радиолокационных систем, работающих в режиме автоматического сопровождения цели. / К. И. Фомичев, Л. М. Юдин., 1988. –(3).
8. Technologe of Electronics Attack (EA) against modern Radar System. – AT&T Bell Laboratore Merry Hill Laboratory. – N.Y., 2000, July.
9. Johnson G. R. Jamming passive lobbing radars. – Electronic Warfare / G. R. Johnson., 1977. – 90 с. – (9; вип. 2).
10. Перунов Ю. М. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Ю. М. Перунов, К. И. Фомичев, Л. М. Юдин., 2003. – 416 с. — ISBN: 5-93108-039-2
11. Пухов Э. О. Самолеты дальнего радиолокационного обнаружения США/ Э. О. Пухов, 1965, №1.

12. Горбунов В.А. Эффективность обнаружения целей. / В. А. Горбунов, М.: Воениздат, 1979. — 160 с.
13. Леньшин А.В. Бортовые системы и комплексы радиоэлектронного подавления/ А.В. Леньшин. – Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2014. – 590 с.
14. Куприянов А.И., Сахаров А.В. Радиоэлектронные системы в информационном конфликте/ А.И. Куприянов, А.В. Сахаров. – М.: Вузовская книга, 2003. — 528 с.
15. Присняков В.Ф. Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем/ В.Ф. Присняков, Л.М. Приснякова. – М.:Машиностроение. – 1990. – 248с.
16. Абчук В.А., Суздаль В.Г. Поиск объектов. М., «Сов. Радио», 1977
17. Динер И.Я. Исследование операций. Л., ВМОЛУА, 1969. Разд.: Эффективность поиска и слежения.
18. Теория поиска в военном деле. М., Воениздат, 1964. Авт.: Л.А. Емельянов, В.А.Абчук, В.П.Лапшин, В.Г.Суздаль.
19. Сиротин П.А. Возможности обнаружения цели при поиске на линии наблюдения. – «Морской сборник»/ П.А Сиротин, 1962, №5.
20. Скворцов М.И. Основы маневрирования кораблей./ М. И. Скворцов, И. В. Юхов, Б. И. Землянов, В.А. Абчук, О. А. Мрыкин. М., Воениздат, 1966.
21. Unmanned Aerial Vehicles Roadmap, 2000—2025 Office of Secretary of Defense, Department of Defense, Washington, D.C., 2001.
22. Unmanned Aircraft Systems Roadmap, 2005—2030 Office of Secretary of Defense, Department of Defense, Washington, D.C., 2005.
23. The Implementation of Network Centric Warfare Office of Force Transformation, Office of Secretary of Defense, Department of Defense, Washington, D.C., 2005.

24. Castanon, D. A. Cooperative mission control for unmanned aerial vehicles. In Proceedings of the AFOSR Workshop on Dynamic Systems and Control, Pasadena/ D. A. Castanon, C. G. Cassandras, CA, 2002, 57—60.
25. Banda, S. S. Future directions in control of unmanned aerial vehicles. In Proceedings of AFOSR Workshop on Future Directions in Control, Arlington/ S. S. Banda, VA, Apr. 2002.
26. Dubins, L. E. On curves of minimal length with a constraint on average curvature and with prescribed initial and terminal positions and tangents. American Journal of Mathematics/ L. E. Dubins, 79, 3 (1957), 497—516.
27. Dubins, L. E. On plane curves with curvature. Pacific Journal of Mathematics/ L. E. Dubins, 11/2 (1961), 471—481.
28. Shkel, A. M. Classification of the Dubins set. Robotics and Autonomous Systems/ A. M. Shkel, V. Lumelsky, 34/4 (2001), 179—274.
29. Backer, J. Finding curvature-constrained paths that avoid polygonal obstacles. In Proceedings of the Twenty-third Annual Symposium on Computational Geometry/ J. Backer, D. Kirkpatrick, Gyeongju, South Korea, 2007, 66—73.
30. Цветнов В.В. Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие/ В.В. Цветнов, В. П. Демин., А. И. Куприянов. М.: МАИ, 1998. — 248 с.
31. Phased Arrays for ECM. The International Countermeasures Handbook. Third Edition, 1977, June, p. 333-341.
32. Шахгильдян В.В. Проектирование радиопередатчиков: Учеб. Пособие для вузов / В.В.Шахгильдян М.С. Шумилин, В.Б. Козырев и др.; под редакцией В.В.Шахгильдяна — М. «Радио и связь», 2000. — 665 с.: ил. — ISBN 5-256-01378-5.
33. Гавриленко Н.Н. Радиопередающие устройства: Учебник для морех. училищ. — 4-е изд., перераб. И доп./ Н.Н. Гавриленко — М. «Транспорт», 1983. — 368 с.

- 34.Шумилин М.С. Проектирование транзисторных каскадов передатчиков: учеб. пособие для техникумов/М. С. Шумилин, В. Б. Козырев, В. А. Власов. — М.: Радио и связь, 1987. — 320 с.
- 35.Антонець О.М. Методичні вказівки з дисципліни «Радіопередавальні пристрої»/ О.М Антонець, В. О. Дмитрук— Київ, 2017. —34 ст.

ДОДАТОК А

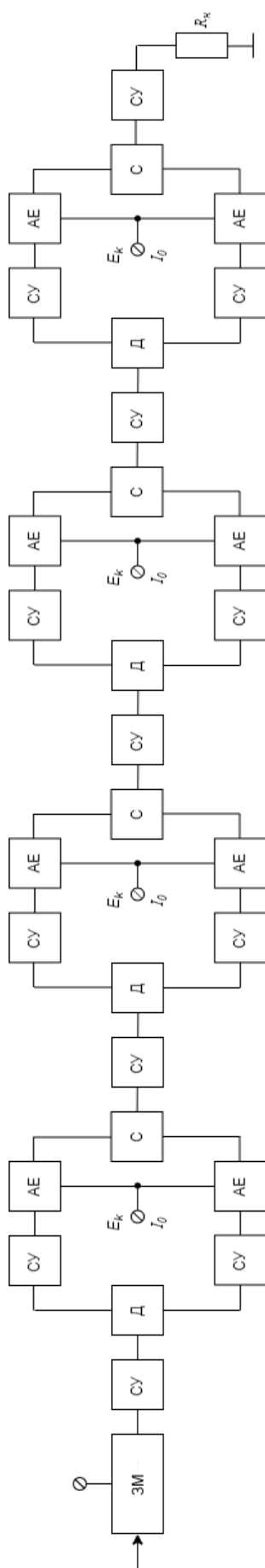


Рисунок 3.6 — Структурна схема

РПДП

ДОДАТОК Б

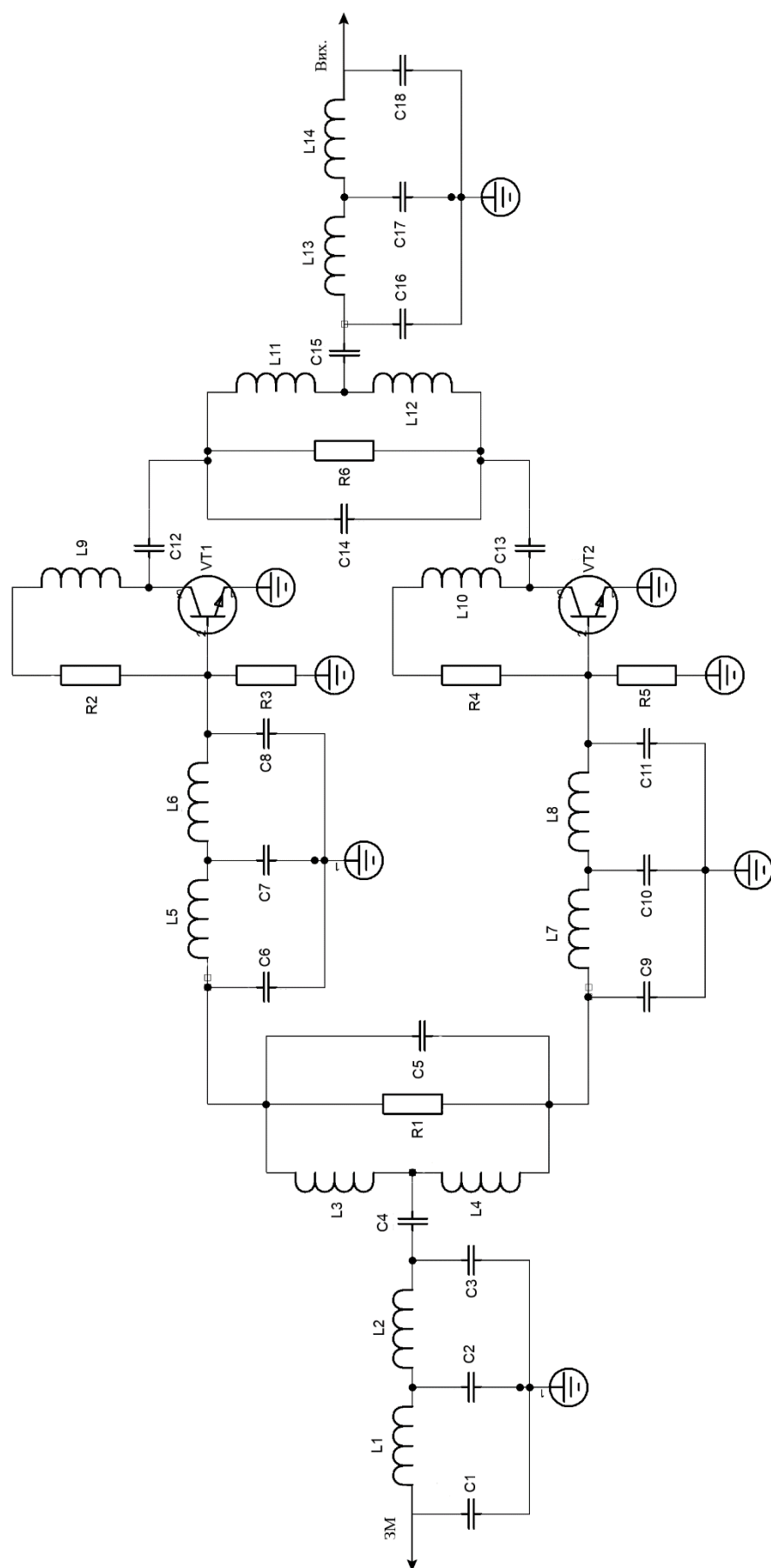


Рисунок 3.10 — Электрическая
принциповая схема выходного каскада РПДП